

ISSN 2222-8594

# **НАУКОВИЙ ВІСНИК**

**НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ**

**Серія “Техніка та енергетика АПК”**

# **226**

**Київ – 2015**

## **Національний університет біоресурсів і природокористування України**

Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол. : С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. – К., 2015. – Вип. 226. – 406 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України, Міністерства аграрної політики та продовольства України та науково-дослідних інститутів НАН України і НААН України.

**Редакційна колегія:** С. М. Ніколаєнко, *д.пед.н., проф.* (відповідальний редактор), І. І. Ібатуллін, *д.с.-г.н., проф.* (заступник відповідального редактора), В. Д. Войтюк, *д.т.н., проф.* (заступник відповідального редактора), В. І. Кирилюк, *к.с.-г.н., с.н.с.* (відповідальний секретар), І. Л. Роговський, *к.т.н., с.н.с.* (заступник відповідального секретаря), В. В. Адамчук, *д.т.н., проф.*, Л. В. Аніскевич, *д.т.н., проф.*, Є. Г. Афтанділянц, *д.т.н., проф.*, А. І. Бойко, *д.т.н., проф.*, В. М. Булгаков, *д.т.н., проф.*, Д. Г. Войтюк, *к.т.н., проф.*, Г. А. Голуб, *д.т.н., проф.*, О. І. Давиденко, *д.т.н., проф.*, Петро Євич, *д.т.н., проф.*, Євгеній Красовські, *д.т.н., проф.*, В. І. Кравчук, *д.т.н., проф.*, В. С. Ловейкін, *д.т.н., проф.*, Марек Светлік, *д.т.н., проф.*, В. Г. Мироненко, *д.т.н., проф.*, В. М. Несвідомін, *д.т.н., проф.*, Павловські Тадеуш, *д.т.н., проф.*, С. Ф. Пилипака, *д.т.н., проф.*, В. Г. Самосюк, *д.т.н., проф.*, В. В. Теслюк, *д.т.н., проф.*, С. Г. Фришев, *д.т.н., проф.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 1 від 28 серпня 2015 р.

Згідно з постановою Вищої атестаційної комісії України від 01 липня 2010 р. № 1-05/5 та наказу Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 збірник науковий праць «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК» внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора, кандидата технічних наук.

Збірник науковий праць «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ (ліцензійний договір від 01 листопада 2013 р. №666-11/2013-343) та UlrichsWeb.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2015

## ЗМІСТ

### МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

АКАДЕМІК ВАСИЛЕНКО П. М. – ВИДАТНИЙ ВЧЕНИЙ ТА ВЧИТЕЛЬ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ <i>С. М. Ніколаєнко, В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк</i> .....	11
НАУКОМЕТРІЯ ЯК ЗАСІБ ІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНСЬКОЇ НАУКИ У СВІТОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР <i>І. І. Їбатуллін, А. В. Шостак</i> .....	30
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКИ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ НА ПРУЖНІЙ ПІДВІСЦІ З ҐРУНТОМ <i>Д. Г. Войтюк, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк</i> .....	45
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН В УКРАЇНІ <i>В. Д. Войтюк, М. І. Денисенко, А. С. Опальчук</i> .....	52
КІНЕМАТИЧНИЙ АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ <i>Я. М. Михайлович, А. М. Рубець</i> .....	65
НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ КАФЕДРИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА СИСТЕМОТЕХНІКИ ІМЕНІ АКАДЕМІКА П.М. ВАСИЛЕНКА <i>Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Теслюк</i> .....	73
ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ УДОСКОНАЛЕНИМ КОПАЧЕМ ВІБРУЮЧОЇ ДІЇ <i>С. П. Сокол</i> .....	77
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВТОРИЧНОГО РЫНКА ПОДДЕРЖАННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ <i>С. А. Соловьев, В. С. Герасимов, В. П. Миклуш</i> .....	83
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОЧОГО ОРГАНА РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ <i>А. С. Кобець, М. М. Науменко, Н. О. Пономаренко</i> .....	95
ОБ'ЄКТИВНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ АДАПТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ РІЛЬНИЦТВА <i>О. В. Сидорчук, П. М. Луб, А. О. Шарibuра, В. В. Грабовець</i> .....	102
МЕТОД ВРАХУВАННЯ ОБ'ЄКТИВНИХ ПРИЧИН СТОХАСТИЧНОСТІ ТЕРМІНІВ БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ РОБІТ <i>О. В. Сидорчук, П. М. Луб, В. С. Спичак, В. Л. Пукас</i> .....	109

ОЦІНКА ПРОСТОРОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ РІВНИННОГО ЛІСОСТЕПУ <i>Л. В. Аніскевич, В. М. Стародубцев</i> .....	115
СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛІ ДІАГНОСТИРОВАНИЯ ОБ'ЄМНОГО ГИДРОПРИВОДА ГСТ-90,112 <i>И. Г. Бойко, А. В. Войтов, В. А. Войтов</i> .....	124
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ НАСІННЯ КОМБАЙНАМИ З РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СХЕМАМИ ОБМОЛОТУ <i>В. О. Шейченко, М. М. Анеляк, А. Я Кузьмич, С. О. Кустов, О. М. Грицака</i> .....	133
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО СОРТУВАННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ <i>А. М. Поляков, А. І. Дзюба</i> .....	141
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ <i>Р. В. Антощенко, А. Т. Лебедєв</i> .....	146
RATING TEACHERS AND STRUCTURAL DIVISIONS OF NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE (NULES) <i>A. V. Shostak</i> .....	152
ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ І ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРИ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ВІДМОВАХ <i>О. С. Гринченко</i> .....	163
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК <i>В. Д. Войтюк, В. І. Рубльов, В. Г. Опалко</i> .....	168
МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОНКОСТЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА <i>Т. С. Скобло, С. П. Романюк, А. И. Сидашенко, Е. Л. Белкин</i> .....	178
МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТРАХУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ: ІННОВАЦІЙНИЙ АСПЕКТ <i>С. А. Навроцький</i> .....	190
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА: ФІНАНСОВИЙ АСПЕКТ <i>В. Д. Войтюк, А. В. Войтюк</i> .....	203
ПРОВАЙДИНГ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ: СТРАТЕГІЯ ТА МЕХАНІЗМИ <i>О. Є. Гудзь</i> .....	211

СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ АГРОІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ <b>А. В. Джошар</b> .....	221
ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ОСНОВНОГО КАПІТАЛУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ <b>О. В. Захарчук</b> .....	229
МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ТА АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ ПІДПРИЄМСТВ <b>П. А. Стецюк</b> .....	236
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕФОРМАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ВІБРООБРОБЦІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ <b>Т. С. Скобло, А. О. Науменко, В. М. Власовець, Є. Л. Бєлкін</b> .....	243
АНАЛІЗ ВІДМОВ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ <b>А. В. Новицький, З. В. Ружи́ло</b> .....	253
МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ КОМБІНОВАНИМ АГРЕГАТОМ <b>Г. В. Тєслюк, Б. А. Волик, А. М. Пуґач</b> .....	260
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИМИ АГРЕГАТАМИ ЯК ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ <b>М. П. Артьомов</b> .....	264
УМОВИ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТРИБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН – ҐРУНТ» <b>С. М. Герук, К. В. Борак, В. Г. Руденко</b> .....	271
ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОЦЕСИ РОСТУ РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ <b>Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко</b> .....	277
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ <b>В. М. Пришляк</b> .....	281
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН <b>Н. П. Артемов, М. Л. Шуляк</b> .....	290
ГЛИБИНА ТА МІКРОТВЕРДІСТЬ ЗМІЦНЕНОГО ЛАЗЕРОМ ШАРУ СТАЛІ 65Г ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН <b>Ю. О. Ковальчук, В. В. Дідур, А. В. Нєвзорєв</b> .....	295
ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ КООПЕРАТИВІВ ІЗ КОРМОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЛОЧНИХ ФЕРМ СІМЕЙНОГО ТИПУ <b>А. М. Тригуба</b> .....	301
ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ НАСІННЯ ПО РОЗПОДІЛЬНИКУ СОШНИКА ДЛЯ ПІДҐРУНТОВО-РОЗКИДНОГО СПОСОБУ СІВБИ <b>М. Л. Заєць, М. М. Живєга</b> .....	307

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ҐРУНТООБРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЗНАРЯДЬ <b>В. І. Ветохін</b> .....	315
КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНО-СОЛОМИСТОГО ВОРОХУ В ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНАХ <b>Г. А. Голуб</b> .....	321
ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ МЕХАНІКИ ПЕРКОЛЯЦІЙНО- ФРАКТАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ <b>І. Г. Грабар, О. І. Грабар</b> .....	329
ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ СЕРІЙНИХ КОНТАКТІВ <b>В. В. Козирський, І. В. Радько</b> .....	336
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ <b>П. М. Кухаренко</b> .....	340
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК <b>И. В. Морозов, В. И. Морозов, Э. В. Ольховский</b> .....	344
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ ДО СІВБИ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ СУЧАСНИМИ АГРЕГАТАМИ <b>М. П. Волоха</b> .....	349
ОПТИМІЗАЦІЯ КРАЙОВИХ УМОВ РИВКОВОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ <b>В. С. Ловейкін, К. І. Почка</b> .....	356
ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ЗАЛЕЖНОГО ДОПУСКУ <b>П. М. Полянський</b> .....	368
ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У МАГНІТНОМУ ПОЛІ <b>В. В. Савченко, О. Ю. Синявський</b> .....	374
ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МІКОБІОПРЕПАРАТІВ <b>В. В. Теслюк, В. В. Теслюк, М. С. Шведик</b> .....	380
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ ІНДУК- ЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ <b>Ч. В. Пулька, В. М. Барановський, В. Я. Гаврилюк, В. С. Сенчишин</b> .....	386
ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВИГУНІВ ЛІСО- І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ <b>О. А. Бешун, О. А. Марус</b> .....	393

## CONTENTS

### MACHINES AND MEANS OF MECHANIZATION

ACADEMICIAN PETRO M. VASYLENKO – OUTSTANDING SCIENTIST AND TEACHERS OF AGRICULTURAL MECHANICS <b>S. M. Nikolaenko, V. M. Bulgakov, D. G. Voytyuk</b> ....	11
SCIENTOMETRICS AS MEANS OF INTEGRATION OF UKRAINIAN SCIENCE AT GLOBAL INFORMATION AREA <b>I. I. Ibatullin, A. V. Shostak</b> .....	30
CONCEPTUAL BASES OF RESEARCH MECHANICS INTERACTION OF WORKING IN SPRING SUSPENSION WITH SOIL <b>D. G. Voytyuk, Yu. V. Chovniuk, Yu. O. Gumenyuk</b> ....	45
STATE AND PROSPECTS FOR STRENGTHENING AND REHABILITATION WORKING OF AGRICULTURAL MACHINES IN UKRAINE <b>V. D. Voytyuk, M. I. Denisenko, A. S. Opalchuk</b> .....	52
KINEMATIC ASPECTS OF WORKING ABILITY OF THREADED CONNECTIONS OF AGRICULTURAL MACHINERY <b>Ya. M. Mykhaylovych, A. M. Rubets</b> .....	65
RESEARCH AND DEVELOPMENT DEPARTMENTS AGRICULTURAL MACHINERY AND SYSTEMS ENGINEERING NAMED AFTER ACADEMICIAN P. M. VASYLENKO <b>D. G. Voytyuk, L. V. Aniskevych, V. V. Teslyuk</b> .....	73
ROOT CROPS DIGGING WITH IMPROVED VIBRATING DIGGER <b>S. P. Sokol</b> .....	77
FEATURES OF THE FORMATION OF AN EFFICIENT SECONDARY MARKET FOR USED AGRICULTURAL MACHINERY IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX <b>S. A. Solovyov, V. S. Gerasimov, V. P. Miklush</b> .....	83
SUBSTANTIATION OF DESIGN FEATURES OF WORKING BODY OF SPREADER MINERAL FERTILIZERS CENTRIFUGAL TYPE <b>A. S. Kobets, M. M. Naumenko, N. O. Ponomarenko</b> .....	95
OBJECTIVE PRE-CONDITIONS DEVELOPMENT OF ADAPTIVE TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF FIELD-CROP CULTIVATION <b>O. V. Sydoruk, P. M. Lub, A. O. Sharybura, V. V. Grabovets</b> ....	102
METHOD OF OBJECTIVE REASONS ACCOUNT OF BEET-HARVESTING WORKS STOCHASTIC TERMS <b>O. V. Sydoruk, P. M. Lub, V. S. Spichak, V. L. Pukas</b> .....	109

EVALUATION OF SPATIAL VARIABILITY OF SOIL COVER OF FOREST-STEPPE PLAINLANDS <b>L. V. Aniskevych, V. M. Starodubtsev</b> .....	115
STRUCTURAL IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL THREE DIMENSIONAL MODEL OF DIAGNOSIS HYDRAULIC ГСТ-90,112 <b>I. G. Boyko, A. V. Voitov, V. A. Voitov</b> .....	124
RESEARCH THE SEED DAMAGE BY COMBINES WITH VARIOUS TECHNOLOGICAL SCHEMES OF THRASHING <b>V. O. Sheychenko, M. M. Anelyak, A. Ya. Kuzmich, S. O. Kustov, O. M. Gritsaka</b> .....	133
IMPROVED TOOLS FOR POST-HARVEST SORTING POTATOES <b>A. M. Polyakov, A. I. Dziuba</b> .....	141
DETERMINATION OF EFFECTIVE STRUCTURE OF SOWING TRACTOR UNIT <b>R. V. Antoshchenkov, A. T. Lebedev</b> .....	146
RATING TEACHERS AND STRUCTURAL DIVISIONS OF NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE <b>A. V. Shostak</b> .....	152
CONSTRUCTION MECHANICAL AND PREDICTION MODELS RELIABILITY OF DEGRADATION REFUSAL <b>O. S. Grinchenko</b> .....	163
QUALITY DEVELOPMENT METHOD THREADED CONNECTIONS GRAIN SEEDERS <b>V. D. Voytyuk, V. I. Rublev, V. G. Opalko</b> .....	168
CALCULATION AND EVALUATION OF TEMPERATURE STRESSES AND STRAINS FORMED OPERATION THIN-WALLED CUTTING TOOL <b>T. S. Skoblo, S. P. Romaniuk, A. I. Sidashenko, E. L. Belkin</b> .....	178
METHODOLOGICAL BASIS OF INSURANCE FARMLAND: INNOVATION ASPECT <b>S. A. Navrotskyi</b> .....	190
ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM TECHNICAL INNOVATION DEVELOPMENT POTENTIAL AGRICULTURAL PRODUCTION: FINANCIAL ASPECTS <b>V. D. Voytyuk, A. V. Voytyuk</b> .....	203
PROVIDING OF TECHNOLOGICAL INNOVATION: STRATEGY AND MECHANISMS <b>O. Ye. Gutz</b> .....	211
STRATEGIC DIRECTIONS OF AGRO INNOVATION <b>A. V. Dzhoshar</b> .....	221
INNOVATIVE DEVELOPMENT OF FIXED ASSETS OF AGRARIAN ENTERPRISES <b>O. V. Zakharchuk</b> .....	229



METHODICAL ASPECTS OF EVALUATION AND ANALYSIS OF INNOVATION PROJECTS ENTERPRISES <b>P. A. Stetsyuk</b> .....	236
DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF DEFORMATION UNDER LOAD VIBROPROCESSING WORKING OF AGRICULTURAL MACHINERY <b>T. S. Skoblo, A. O. Naumenko, V. M. Vlasovets, Ye. L. Belkin</b> .....	243
ANALYSIS OF FAILURES OF MACHINES FOR MAKING AND DISTRIBUTION OF FEED <b>A. V. Novitskiy, Z. V. Ruzhylo</b> .....	253
QUALITY ASSESSMENT METHOD ANALYTICAL LOOSENING SOIL COMBINED UNITS <b>G. V. Teslyuk, B. A. Volyk, A. M. Pugach</b> .....	260
DETERMINE THE OPTIMAL OF CONTROL PARAMETERS BY TILLAGE MACHINES AS A DYNAMIC SYSTEM <b>M. P. Artiomov</b> .....	264
TERMS OF SELF-ORGANIZATION TRIBOSYSTEM "WORKING TOOL - LAND" <b>S. M. Geruk, K. B. Borak, V. G. Rudenko</b> .....	271
INFLUENCE ELECTROMAGNETIC ENERGY ON GROWTH PLANT FACILITIES <b>G. B. Inozemtsev, O. V. Okushko</b> .....	277
DRIVING DYNAMICS RESEARCH SEED ON BOOT DEVICE <b>V. M. Pryshlyak</b> .....	281
USING FILTER TO IMPROVE THE ACCURACY OF RESEARCH DYNAMICS MOBILE MACHINES <b>M. P. Artiomov, M. L. Shulyak</b> .....	290
DEPTH AND MICROHARDNESS OF LASER STRENGTHENING OF LAYER OF STEEL 65G IS FOR INCREASE OF WEARPROOFNESS OF WORKINGS ORGANS OF SOIL-CULTIVATING MACHINES <b>Yu. O. Kovalchuk, V. V. Didur, A. V. Nevzorov</b> .....	295
OPTIONS TECHNICAL EQUIPMENT COOPERATIVES FODDER SOFTWARE OF DAIRY FARM FAMILY TYPE <b>A. M. Tryguba</b> .....	301
DETERMINATION OF TRAFFIC SPEED IN SEEDS FOR DISTRIBUTOR SUBSURFACE DRILL-SPREADING METHODS OF SOWING <b>M. L. Zaets, M. M. Zhyvega</b> .....	307
SOME ASPECTS OF SOIL PROPERTIES AT PROJECTING SOIL PROCESSES AND TOOLS <b>V. I. Vetohin</b> .....	315

KINETICS OF SEPARATION GRAIN STRAW AND PEAS COMBINE HARVESTERS <b>G. A. Golub</b> .....	321
INNOVATIVE MECHANICS MODEL PERCOLATION-FRACTAL ENVIRONMENTS <b>I. G. Grabar, O. I. Grabar</b> .....	329
FEATURES OF INVESTIGATION WORKING SURFACE SERIAL CONTACTS <b>V. V. Kozyrskyy, I. V. Radko</b> .....	336
ENERGY TREND DIRECTIONS DEEP IN MANUFACTURING PROCESS OF CULTIVATION SOIL <b>P. M. Kukharenko</b> .....	340
IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROCESS PROCESS GRAIN SEEDER <b>I. V. Morozov, V. I. Morozov, E. V. Olkhovskiy</b> ...	344
RESEARCH OF PROCESS OF PREPARING SOIL FOR SOWING SUGAR BEET AND MODERN MACHINES <b>M. P. Volokha</b> .....	349
OPTIMIZATION CONDITIONS IMPROVING MARKET REGIME REVERSING ROLLER MOLDING INSTALLATION <b>V. S. Loveykin, K. I. Pochka</b> .....	356
PROCEDURE FOR CALCULATING DEPENDENT ADMISSION <b>P. M. Polyanskiy</b> .....	368
PRESOWING TREATMENT OF GRAIN SEEDS IN MAGNETIC FIELD <b>V. V. Savchenko, O. Yu. Sinyavsky</b> .....	374
TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PREREQUISITES FOR ESTABLISHMENT OF BIOTECHNOLOGY PRODUCTION MIKOBIOPREPARAT <b>V. V. Teslyuk, V. V. Teslyuk,</b> <b>N. S. Shvedik</b> .....	380
MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION INDUCTION WELDING <b>C. V. Pulka,</b> <b>V. M. Baranovsky, V. Ya. Gavrilyuk, V. S. Senchyshyn</b> .....	386
FEATURES OF POLLUTANT FORMATION IN FOREST AND AGRICULTURAL MOBILE MACHINES ENGINE EMISSIONS <b>O. A. Beshun, O. A. Marus</b> .....	393

## МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 263.082.22

### **АКАДЕМІК ВАСИЛЕНКО П. М. – ВИДАТНИЙ ВЧЕНИЙ ТА ВЧИТЕЛЬ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ**

***С. М. Ніколаєнко, доктор педагогічних наук  
В. М. Булгаков, доктор технічних наук, академік НААН  
Д. Г. Войтюк, кандидат технічних наук,  
член-кореспондент НААН***

*В статті наведені основні етапи життя, наукова та педагогічна діяльність Василенка Петра Мефодійовича – академіка ВАСГНІЛ, академіка Української академії аграрних наук, член-кореспондента Національної академії наук України, доктора технічних наук, професора, видатного вченого в галузі землеробської механіки. Академік Василенко П. М. відомий далеко за межами нашої країни фундаментальними дослідженнями з питань теорії та методів розрахунку ґрунтообробних, посівних, зернозбиральних і бурякозбиральних машин та в галузі динаміки і стійкості руху складних сільськогосподарських машин. За видатний науковий внесок у розвиток теоретичних основ землеробської механіки, за створення наукової школи Василенко П. М. відзначений державними нагородами та найвищою нагородою в галузі землеробської механіки – Золотою медаллю ім. Горькіна В. П.*

***Академік, вчений, вчитель, землеробської механіка.***

17 жовтня 2015 року наукова та педагогічна спільнота України в галузі аграрної науки, а також чисельні вчені ближнього і далекого зарубіжжя будуть відзначати 115-річницю від дня народження одного із засновників землеробської механіки, видатного вченого, вчителя, академіка ВАСГНІЛ (тепер Російської академії сільськогосподарських наук), академіка Української академії аграрних наук (тепер Національна академія аграрних наук України), член-кореспондента Національної академії наук України, доктора технічних наук, професора Петра Мефодійовича Василенка (1900 – 1999 рр.).

Присвячена цій події міжнародна наукова конференція відбудеться цього року в м. Києві в Національному університеті біоресурсів і природокористування України. З цим містом і з цим вищим навчальним закладом було пов'язане майже все наукове і педагогічне життя Петра Мефодійовича, оскільки тут він закінчив педагогічні

© С. М. Ніколаєнко, В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк, 2015

курси (Педвідділ Київського сільськогосподарського інституту), закінчив аспірантуру, працював усе подаліше життя і де яскраво і потужно розкрився талант і здібності цієї видатної постаті ХХ століття.

Вже майже 16 років немає з нами Василенка П. М., без перебільшення вченого зі світовим ім'ям, засновника і творця наукової школи з землеробської механіки в Україні, з яким консультувались і радились багато вчених зі всього Радянського Союзу, який залишив по собі численну кількість фундаментальних теоретичних праць, якими досі успішно користуються у світі вчені цілої галузі науки, оскільки перекладені на багато мов, і який був для багатьох учнів (і не тільки учнів) справжнім вчителем.

Що ж це була за людина – академік Петро Мефодійович Василенко?

Без прикрашення можна стверджувати, що це була надзвичайно розумна людина, якій були притаманні риси вченого нібито зі звичайною радянською біографією, але довге життя його було занадто насиченим, складним, а у деяких випадках дуже важким. Він походив з козацького роду “від Землі – Матіньки”, але все ж таки був інтелегентом, розумником, неординарною особистістю – маючи за плечима тільки освіту сільськогосподарського училища (розташованого у рідному селі), а згодом сільськогосподарського та кооперативного технікуму, який, до речі був створений в тому ж селі, в ці ж самі роки на базі того ж самого училища, він самотійно, самовіддано, самоосвітою досяг таких вершин в галузі механіко-математичних наук, які дали йому змогу не тільки на рівних спілкуватись і дискутувати з відомими академіками та професорами математиками і механіками, але й згодом збагатити цю галузь своїми власними фундаментальними науковими працями, на які є посилання у багатьох країнах світу, які використані навіть у космічній галузі США та визнані ООН як видатні.

Якщо вважати, що становлення Василенка П. М. як вченого відбувалось в бурхливих 20 – 40 роки минулого сторіччя, то є всі підстави стверджувати про безперечний, надзвичайний феномен академіка Василенка П. М.

Народився Петро Мефодійович 17 жовтня 1900 року в селі Мигія Первомайського уїзду Одеської губернії (тепер Первомайський район Миколаївської області) в незаможній багатодітній селянській сім'ї [1]. Село розташовано на відстані 8 кілометрів від міста Первомайськ, на березі річки Південний Буг. Саме в цьому місці Південний Буг має скалисті береги і бурхливу течію. Свій день народження Петро Мефодійович багато років відзначав 18 жовтня. Але у 80-ті роки минулого сторіччя (у восьмидесятий рік свого народження) він, маючи феноменальну пам'ять, самотійно згадав, підрахував і підтвердив це в офіційних органах, що датою народження помилково вва-

жається 18 жовтня, а справжнім днем його появи в цьому світі є 17 жовтня. І йому офіційно було видано документи, які це підтверджували.

Дитинство майбутнього академіка пройшло в рідному селі у постійній тяжкій праці з раннього віку в полі та господарстві. На нього, як на старшу дитину в багатодітній родині, були покладені ще й обов'язки по постійному догляду за меншими братами та сестрами. Не зважаючи на дуже складні умови життя Василенко П. М. пішов до сільської школи у рідному селі і отримав першу початкову освіту, успішно закінчивши в 1911 році 4-х класну початкову школу.

Перша Світова війна, що розпочалась влітку 1914 року, ще більш тяжко позначилась на матеріальному становищі багатодітної родини Василенків. Мефодія Оникійовича – батька майбутнього академіка, мобілізували і він потрапив до діючої армії, а на Петра, як на старшого чоловіка в родині, тепер лягала не тільки відповідальність по догляду за шістьма молодшими братами та сестрами, але й фактично турбота по годуванню усієї великої родини.

Але ще тоді, у дуже молодому віці, Петро, блискуче засвоївши майже усі тяжкі сільські професії, виявляв особливі ознаки дуже тонкого і точного розуміння і підходу до ведення сільського господарства. Як він розповідав у подальшому своїм найближчим учням, вирощування баштанних культур, а ними на півдні України засівали багато площ, не завжди приносило багатий врожай. Уважно придивляючись та розмірковуючи про такий стан справ юний Петро зрозумів, що причиною цього є вітер, який в степу буває дуже сильним, що спричиняє пересування, а в більшості випадків й перевертання огудиння. Тоді він, зрозумівши у чому справа, першим у селі, разом з молодшими братами, почали нарізати тонкі гілки дерев з невеличкими гачками і встромляючи їх у ґрунт закріплювали огудиння на баштані. Тепер, незважаючи на вітер, огудиння залишалось нерухомим, внаслідок чого родина Василенків завжди отримувала багаті врожаї кавунів, гарбузів, огірків та ін. Після цього, в селі почали казати: “Дивіться, тільки Василенкові хлопці до цього доміркувались”, і односельці почали робити те ж саме [2]. А у майбутнього академіка на все життя залишилась любов до кавунів, гарбузів та огірків і він постійно казав своїм учням, що треба як можливо більше вживати ці корисні овочі. Так, він багато разів висловлював своїм учням думку про те, що для найкращого періодичного очищення організму варто поїхати восени на баштан і буквально пожити там з тиждень, вживаючи тільки одні кавуни. А й ще до надзвичайно корисної, як він сам багаторазово висловлювався, ягоди – шовковиці, великий куш якої ріс біля його батьківської хати і протягом багатьох років, в прямому сенсі, “використовувався” усіма дітьми як сніданок, обід і вечеря.

Змушений тяжко працювати, майбутній вчений однак не залишає думку про подальше навчання. У 1914 році він вступив, а у 1916 році успішно закінчив земельне 2-х класне училище, що також знаходилось у селі Мигія. Далі, у 1916 році, він вступає до Ольгінсько-Скаржинського сільськогосподарського училища 1-го розряду, яке було також розташоване у рідному селі. Це училище було засноване в селі Мигія ще в 1890 році, мало в своєму штаті кваліфікованих викладачів, необхідні приміщення та лабораторії, добре впорядковану бібліотеку, а також спеціальну дослідну ділянку землі, площа якої становила понад 600 гектарів. Не зважаючи на анархію та розруху в країні під час громадянської війни, наприкінці 1919 року Василенко П. М. успішно закінчив цей навчальний заклад. Як кращий випускник училища він отримав у 1920 році направлення на роботу інструктором з питань сільського господарства при Первомайському земельному відділі. Працюючи в Первомайську Василенко П. М. мріяв про подальшу освіту і в вересні 1920 року його, як молодого спеціаліста направляють для продовження навчання в тільки-но створений Мигійський сільськогосподарський і кооперативний технікум, який було організовано на базі того ж самого Ольгінсько-Скаржинського сільськогосподарського училища. Майбутній вчений в галузі землеробської механіки навчався в сільськогосподарському і кооперативному технікумі на відділенні рільництва. Після трирічного успішного навчання в технікумі (по 1 вересня 1923 р.) та року виробничої практики Василенко П. М. восени 1924 року одержав диплом агронома – рільника.

До речі, такі технікуми згідно Декрету РНК УРСР вважались вищими спеціальними навчальними закладами і проіснували в Україні до 1929 року. Потім з метою уніфікації освіти і учбових закладів України та Росії (в РРФСР технікуми вважались середніми учбовими закладами) вони, у більшості випадків, були реорганізовані. Деякі з них було відразу перетворено в інститути, окремі – об'єднано і також перетворено в інститути, а більшість пізніше втратила статус вищих учбових закладів. Мигійський сільськогосподарський та кооперативний технікум у зв'язку з цим був реорганізований у вищій навчальний заклад і фактично суто умовно був об'єднаний з Луганським сільськогосподарським технікумом, після чого на деякий час ці два технікуми (розділені відстанню понад 600 кілометрів) набули статусу Луганського сільськогосподарського інституту. А тому, диплом про отриману освіту, виданий Петру Мефодійовичу Василенко технікумом був обміняний на свідоцтво від 10 вересня 1932 року про вищу освіту нібито отриману в Луганському сільськогосподарському інституті. Через деякий проміжок часу Мигійському сільськогосподарському та кооперативному технікуму було повернено колишній статус

середнього навчального закладу. Слід підкреслити, що багато видатних вчених України у той час закінчили такі технікуми. Наприклад, всесвітньовідомі вчені селекціонери-генетики – Ремесло В. М., Кириченко Ф. Г., Гаркавий П. Х. та ін. у свій час закінчили Масловський сільськогосподарський технікум, (Масловський сорто-насінневий технікум, який деякий час мав назву Масловський інститут селекції і насіннезнавства ім. К. А. Тімірязева), що знаходився поблизу м. Миронівки Київської обл. і був заснований ще у 1920 році на базі Масловської гімназії. До деякої міри можна вважати, що майбутнім вченим поталанило, оскільки в результаті цієї реорганізації новостворені інститути мали, у переважній більшості, розташування лише у великих містах, а з метою “закріплення” молоді на селі їй тоді не видавались паспорти. А без паспорта і направлення партійних органів юнакам з села вступити до вищих навчальних закладів у великих містах було практично неможливо, що фактично і позбавляло безпартійну сільську молодь права отримувати вищу освіту.

Викладацьку діяльність Василенко П. М. почав вже під час переддипломної практики в Межиріцькій середній сільськогосподарській школі Голованівського району Одеської області, де і працював з 1923 р. по 1928 р. на посадах вчителя хімії та ґрунтознавства, землеробства, сільськогосподарського машинознавства та механізації сільськогосподарського виробництва, а також завідував галуззю практичного рільництва. Саме тоді персональна відповідальність за підвищення продуктивності господарства цієї школи спонукала Василенка П. М. звернути увагу на гостру проблему механізації сільськогосподарського виробництва. Він переконує керівництво училища в необхідності придбати у власність трактор “Фордзон”, і першим у Голованівському районі здійснює механізацію сільського господарства школи на базі трактора та інших сільськогосподарських машин, пристосовуючи їх до механічної тяги. Наочна демонстрація переваг використання техніки та поява перших навчених механізаторів у районі, сприяли тому, що великі господарства району, зокрема “Цукротресту”, відтоді почали купувати та запроваджувати різні сільськогосподарські машини, використовуючи для них тракторну тягу.

Але, незважаючи на захоплення новою роботою, майбутнього вченого все ж таки дуже тягнуло до великих наукових та навчальних центрів і восени 1928 року Василенко П. М. покидає рідні місця і їде до Києва де вступає, а в липні 1929 року закінчує, Вищі педагогічні курси (Педвідділ) при Київському сільськогосподарському інституті. Перед цим він робить намагання відразу вступити в аспірантуру Харківського сільськогосподарського інституту, але чомусь отримує від цього, найстарішого сільськогосподарського навчального закладу України, відмову. При навчанні на педагогічних курсах у Києві навча-

льними планами передбачалось не тільки прослуховування лекцій, а й проведення самими слухачами курсів самостійних лекцій та лабораторно-практичних занять. Декілька лекцій та практичних занять з сільськогосподарського машинознавства, проведених Василенком П.М. на цих курсах, викликали захоплення слухачів і схвальні відгуки викладачів та спеціалістів. Після успішного складання всіх іспитів і проявивши здібності до проведення наукових досліджень, враховуючи високі наукові та педагогічні здібності, він, рішенням вченої ради Київського сільськогосподарського інституту, поряд із свідоцтвом про закінчення курсів, отримав рекомендацію-направлення на наукову роботу в галузі сільськогосподарського машинознавства.

Саме тоді майбутній академік остаточно вирішує займатись у подальшому науковою діяльністю і мріє про обов'язковий вступ до аспірантури. Але знайти місце для навчання в аспірантурі тоді було складно. Як відомо, учбові інститути механізації сільського господарства, науково-дослідні інститути та факультети механізації сільського господарства з цього напрямку аграрної науки, почали відкриватись в країні тільки у 1929-1930 роках. Але майбутній академік таке місце все ж таки знайшов. Відразу, в тому ж 1929 році Василенко П. М., успішно склавши вступні іспити, був зарахований аспірантом науково-дослідної кафедри сільськогосподарської механіки, яка існувала при Головному управлінні науки Наркомату освіти УРСР у Києві. Як відомо, ця науково-дослідна кафедра була заснована ще у 1925-1926 роках при Інституті технічної механіки Всеукраїнської академії наук (ВУАН – так називалась академія наук УРСР у 1921–1936 рр.). І хоча ця кафедра відносилась до “Главнауки” Наркомату освіти УРСР і була заснована Інститутом технічної механіки, але була одночасно прикріплена і до Київського сільськогосподарського інституту, який на той час ще знаходився в приміщеннях Київського політехнічного інституту.

Науково-дослідну кафедру сільськогосподарської механіки очолював відомий в Україні вчений, академік ВУАН (АН УРСР) з 1927 р. Симінський К. К. (з 1921 року він був директором Інституту технічної механіки АН), а її членами були видатні вчені: академік АН СРСР (1929 р.) і ВУАН (АН УРСР) з 1922 р. Крилов М. М.; майбутній академік АН УРСР та АН СРСР, Боголюбов М. М.; професори Серенсен С. В., Василенко А. О., (згодом академік АН УРСР); професори: Крамаренко Л. П. (майбутній член-кореспондент АН УРСР), майбутні професори: Вовк П. Ф., Заморський В. В. та ін. Таким чином, вже на початку своєї наукової діяльності молодому аспіранту пощастило не тільки спілкуватися з видатними вченими того часу в галузі математики та механіки, але й брати участь у науково-методичних



семінарах, які постійно проводились в Інституті технічної механіки та на Кафедрі прикладної математики природничо-технічного відділу (згодом перетвореної, разом з іншими математичними кафедрами в Інститут математики) Всеукраїнської академії наук (ВУАН), оскільки зазначені вчені в галузі механіко-математичних наук працювали ще й в інститутах Академії наук і постійно запрошували аспірантів на свої семінари. Значний вплив на формування наукового мислення молодого вченого справили (за чисельними спогадами самого Василенка П. М.) лекції академіків АН УРСР Кравчука М. П. з курсу “Диференційні рівняння” та Симінського К. К. з “Опору матеріалів”, які він з захопленням прослухав і ретельно записав. І хоча багато із матеріалу лекцій було йому ще не зовсім зрозумілим, потяг до знань, до володіння сучасними фізико-математичними методами був настільки великим, що майбутній академік і в день, і в ночі не гаючи часу самостійно вивчав математику, фізику і механіку (безпосередньо по працях Ньютона, Лагранжа, Апеля, які саме у цей час були перекладені і видані російською мовою), і, згодом, як він сам розповідав своїм найближчим учням – робив це фактично все своє життя.

Цікавим є також той факт, що для підвищення рівня своїх знань в галузі математики і теоретичної механіки Василенко П. М. почав брати активну участь у математичному семінарі на кафедрі прикладної математики природничо-технічного відділу ВУАН, яка у 1934 році увійшла до складу створеного Інституту математики ВУАН. Ці семінари проводились під керівництвом відомого вченого, математика, академіка Української академії наук (УАН) з 1919 року Граве Д. О. (який, до речі, у 1924 році обраний член-кор. АН СРСР, у 1929 році почесним академіком АН СРСР, а у 1934 році був призначений директором Інституту математики ВУАН). Успішні виступи на наукових семінарах і постійне безпосереднє спілкування з видатними математиками України того часу Кравчуком М. П., Пфейффером Г. В., Можаром В. І. та ін. сприяли тому, що Петра Мефодійовича за пропозицією академіка Граве Д. О. обрали членом комісії прикладної математики природничо-технічного відділу ВУАН.

Але час навчання в аспірантурі для майбутнього академіка Василенка П. М. швидко минув і пройшов фактично у глибокому та інтенсивному вивченні фундаментальних основ математики і механіки та розв’язуванні деяких нових задач, які він готував співпрацюючи з видатними вченими, зокрема з відомим математиком, згодом професором Можаром В. І., який також у 1927–1930 рр. проходив аспірантську підготовку на науково-дослідній кафедрі ВУАН під керівництвом академіка АН УРСР з 1929 року Кравчука М. П.

В майбутньому на запитання своїх учнів про умови, за якими звичайна людина може стати справжнім вченим академік Василен-

ко П. М. завжди відповідав так. На його переконання для цього необхідно, крім палкого бажання цієї людини, мати ще обов'язкові чотири умови: природні здібності (талант людини), які закладаються батьками; гарне виховання в родині; можливість отримати ґрунтовну освіту, починаючи зі шкільної і закінчуючи вищою (придбання знань та ерудиції); і, нарешті, працездатність, яка повинна бути притаманна людині усе її життя.

Керівництво науково-дослідної кафедри сільськогосподарської механіки активно використовувало метод підготовки аспірантів через їх безпосередню участь у постійно діючих наукових семінарах. А тому, Василенко П. М. не тільки слухав, а й час від часу і сам виступав на таких семінарах з доповідями стосовно проблем сільськогосподарської механіки, дуже ретельно до них готуючись. Такий метод підготовки науковців раніше в нашій країні, як відомо, широко використовувався у всесвітньо відомих наукових школах академіків Капіци П. Л. і Ландау Л. Д. та давав ні з чим незрівняні результати, оскільки в їх надрах формувались майбутні академіки і професори. Ця обставина спонукала у подальшому Петра Мефодійовича самому організувати подібні наукові семінари не тільки в Україні, а й практично в усіх республіках Радянського Союзу.

В 1932 році побачила світ перша наукова стаття Василенка П. М.: “Сопротивление почв сжатию, как один из факторов, определяющих работу сельскохозяйственных орудий”, надрукована в періодичному науковому журналі “Почвоведение”, №6.

По закінченні аспірантури навесні 1932 року Комісаріат сільськогосподарства України розподіляє випускників на роботу і призначає Василенка П. М. завідуючим кафедрою механізації сільськогосподарства Житомирського сільськогосподарського інституту. Прибувши з Києва в Житомир Василенко П. М. почав працювати в інституті, але не отримавши житла, через п'ять місяців, був змушений повернутись до Києва. Отримавши офіційний дозвіл на повернення до Києва він звернувся до керівництва і, отримавши згоду, почав працювати у Київському Інженерно-економічному інституті на посаді доцента. В цих двох інститутах Василенко П. М. на початку своєї викладацької діяльності, успішно читав студентам курси “Сільськогосподарські машини” та “Технічна механіка”, ретельно готуючи з цих дисциплін власні конспекти лекцій. Саме тоді він у змісті власних лекцій почав вкладати ті нові наукові знання, які він отримав навчаючись в аспірантурі. А саме й це сприяло тому, що його ім'я стало все більш відомим, спочатку серед широкого кола студентів, згодом й науковців.

Вже у Києві, працюючи в Інженерно-економічному інституті він починає за сумісництвом викладати в відкритому Київському інститу-

ті механізації та електрифікації сільського господарства, а восени 1935 року цей інститут вже офіційно запрошує Василенка П. М. на постійне місце роботи завідувати кафедрою сільськогосподарських машин. Згодом інститут увійшов на правах факультету до складу Київського сільськогосподарського інституту, який був розташований в Голосієво, фактично околиці Києва.

В травні 1937 року Василенку П. М. рішенням Вищої атестаційної комісії СРСР та Всесоюзним комітетом у справах вищої школи при РНК СРСР було присуджено науковий ступінь кандидата технічних наук без захисту дисертації. Але, на той час він мав вже більше ніж 10 друкованих праць, що побачили світ в журналах Інституту математики ВУАН в Києві, "Почвоведение" і "Сельскохозяйственная машина" у Москві. Одна з його наукових статей була надрукована іноземною мовою. Ним була підготовлена до друку фундаментальна на той час праця "Основні елементи теорії, розрахунки та проектування сільськогосподарських машин. Плуги.", яка мала майже 100 сторінок друкованого тексту. І тільки складні, на той час, умови видання у друкарні відповідним накладом заперечили тому, що ця праця майбутнього академіка "побачила світ" у широкому колі науковців країни.

І, нарешті, прийшло цілком заслужене визнання наукових заслуг Петра Мефодійовича Василенка, оскільки 22 лютого 1939 року на загальних зборах Академії наук УРСР його обирають член-кореспондентом АН УРСР по Відділу "Технічних наук". До речі, серед обраних тоді член-кореспондентів АН УРСР були у подальшому все-світньовідомі вчені, академіки, які збагатили радянську і світову науку видатними науковими досягненнями – Блохінцев Д.І., Боголюбов М.М., Синельников К.Д., Сухомел Г.Й. та ін. Представляв до обрання членкорів тоді голова експертної комісії з технічних наук академік АН УРСР Патон Є.О. Як писав, у подальшому, у своїх спогадах видатний учень Петра Мефодійовича, академік УААН Погорілий Л. В. [1] "сміливий розбіг був закінчений, – почався зліт і досягнення заздрісних висот у своїй праці та творчості".

У 1940 році вченого призначають заступником декана факультету механізації сільського господарства Київського сільськогосподарського інституту. Він наполегливо веде в інституті навчальний курс з теорії сільськогосподарських машин і починає готувати власну наукову школу. Перед початком війни він вже має двох захищених учнів – Бублік С. П. та Гончаренко П. Т.

З початком Великої Вітчизняної Війни Василенко П. М. як член-кореспондент АН УРСР мав офіційний дозвіл бути евакуйованим з Києва, що він і зробив розмістивши свою сім'ю в товарному вагоні останнього ешелону з майном Академії наук України, який вирушав

на Схід. Але на перегоні між станціями Крути – Плиски Чернігівської області ешелон, в якому він їхав, був розбомблений німецькою авіацією. Внаслідок бомбардування деякі члени сім'ї Петра Мефодійовича були поранені та контужені. Оскільки Конотопський район вже було оточено німцями, Василенко П. М. мимоволі опинився на окупованій фашистами території в селі Сиволож Комарівського району Чернігівської області (біля 30 км на схід від Ніжина). Заховавши свої документи, Петро Мефодійович змушений був працювати простим робітником в господарстві, що до війни належало колгоспу “Червоний лан”, одержуючи за це мізерну платню. Для того, щоб не вмерти з голоду його родина мусила вирощувати овочі на невеликій присадибній ділянці, яку їм виділили у селі.

Велика Вітчизняна війна залишила “страшний слід” в родині Василенків: у боях загинули два рідні брати Петра Мефодійовича – солдат Спиридон Мефодійович та офіцер Тимофій Мефодійович, поранення та контузію отримала рідна сестра.

Після звільнення від загарбників в жовтні 1943 року села Сиволож вчений викладав в середній школі села, а в січні 1944 року був призначений на посаду завідуючого кафедрою фізики Ніжинського педагогічного інституту ім. Гоголя. В квітні 1944 року Василенко П. М. повертається до Києва і починає виконувати обов'язки завідуючого кафедрою сільськогосподарських машин факультету механізації сільського господарства Київського сільськогосподарського інституту. Повернувшись до улюбленої справи вчений приймає активну участь у відновленні роботи факультету, готує нові курси лекцій, ретельно займається науково-дослідною роботою, публікує результати нових розробок та працює над докторською дисертацією. В 1948 році на Спеціалізованій вченій раді Московського інституту механізації та електрифікації сільського господарства ім. Молотова Василенко П. М. успішно захистив дисертаційну роботу на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук на тему: “Основи теорії руху матеріальних частинок по фрикційним поверхням сільськогосподарських машин”. А 14 січня 1949 року ВАК СРСР видав йому диплом доктора технічних наук. 19 травня 1949 року Міністерство вищої освіти СРСР та ВАК СРСР видали Василенку П. М. атестат професора по кафедрі “Сільськогосподарські машини”.

Але ще у 1947 і у наступуючі роки вчений плідно співпрацював з Українським науково-дослідним інститутом механізації та електрифікації сільського господарства, який був заснований у 1930 році і спочатку розташовувався у м. Харкові, але після повернення з евакуації був переведений до м. Києва. Широке коло вирішених наукових проблем, починаючи з дослідження сівалок та культиваторів і закінчуючи дуже актуальними тоді питаннями по створенню буряко-

збирального комбайна, це далеко не повний перелік тематики наукових звітів УНДІМа, де керівником і виконавцем був Петро Мефодійович Василенко.

Ще раніше, наприкінці 1944 року, член-кореспондента АН УРСР Василенка П.М. призначають завідувачим відділом сільськогосподарських машин в новоствореній науково-дослідній лабораторії машинобудування та проблем сільськогосподарської механіки при Відділі технічних наук АН УРСР, яка у 1950 році була реорганізована в Інститут машинознавства і сільськогосподарської механіки АН УРСР. На цій посаді (з виконанням обов'язків завідувача кафедри сільськогосподарських машин КСГІ за сумісництвом) вчений плідно працював до кінця 1956 року. Директором вказаної лабораторії інституту був, згаданий вже, однофамілець Петра Мефодійовича – Василенко Андрій Овер'янович (1891-1963), академік АН УРСР.

А 25 червня 1956 року на Загальних зборах Василенко П.М. був обраний дійсним членом (академіком) Всесоюзної академії сільськогосподарських наук ім. Леніна (ВАСГНІЛ), по Відділенню “Механізація і електрифікація сільського господарства”.

Але 18 грудня 1956 року Урядом України (Постанова ЦК КП(б)У і РМ УРСР) була відтворена Українська академія сільськогосподарських наук (УАСГН) і академік ВАСГНІЛ Василенко П. М. став фактично її академіком-фундатором, був обраний дійсним членом (академіком) цієї академії за спеціальністю механізація сільського господарства, а згодом був призначений академіком-секретарем Відділення механізації і електрифікації. На останній посаді та посаді завідувача кафедри сільськогосподарських машин в учбовій частині УС-ГА за сумісництвом, Василенко П. М. працював до реорганізації цієї академії у Південне відділення ВАСГНІЛ у 1962 році. А 28 грудня 1991 року, тобто через 35 років, він знову був обраний академіком Української академії аграрних наук, тепер Національна академія аграрних наук України, яка була утворена 25 грудня 1990 року.

В 1962 році Василенко П. М. залишає майже усі посади, окрім – професора-консультанта кафедри сільськогосподарських машин Української ордена Трудового Червоного Прапора сільськогосподарської академії (тепер Національний університет біоресурсів і природокористування України), і плідно працює на цій кафедрі до кінця свого життя.

Звільнення від адміністративних обов'язків, після офіційного виходу на пенсію, вивільнило могутній творчий потенціал Василенка П. М. і дало йому можливість зосередитися фактично тільки на науковій діяльності. Про це свідчить кількість опублікованих наукових праць (більше 200), підручників та фундаментальних монографій (12), остання з яких “Введение в земледельческую механику” вийш-

ла з друку у 1996 році, тобто, коли вченому виповнилось вже 96 років. Фундаментальну монографію Василенка П. М. “Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства” занесено до книг міжнародного фонду ООН, по якій визначається рівень автоматизації сільськогосподарського виробництва в усіх країнах світу і рекомендується фахівцям для детального вивчення. Є всі підстави стверджувати, що фундаментальні праці Василенка П. М. відіграли значну роль при створенні та розвитку сучасної сільськогосподарської та іншої техніки в усьому світі. Вони надруковані у Франції, Великобританії, США, Китаї, Словаччині, Румунії, Болгарії та інших країнах і широко використовуються не тільки у сільськогосподарському машинобудуванні. Так, при проектуванні спеціалістами NASA (США) автоматичного апарату “Ровер (LRV)” (типу радянського “Місяцехода”) для пересування по поверхні природного супутника Землі – Місяця, було застосовано (і на це є офіційні посилання) працю вченого “К теории качения колеса со следом”, яка була ним надрукована у 1950 році в Москві в журналі “Сельскохозяйственная машина”. І феноменальне наукове опрацювання Василенка П.М. було практично втілене в життя у 1971 році при автоматичному пересуванні по поверхні Місяця, коли американські астронавти Дейвід Скотт (Skott) і Джеймс Ірвін (Irwin) успішно застосували такий апарат “Ровер-1”, колісний хід якого спроектовано із використанням теоретичної праці нашого видатного співвітчизника – Петра Мефодійовича Василенка. Крім цього, ще двічі у 1971-1972 роках науковий триумф Петра Мефодійовича наче його яскравий погляд у майбутнє, був втілений у життя американцями і підтверджений посадками на Місяць і з успішним використанням автоматичних апаратів пересування “Ровер” (4-х колісний хід, 2 місця для астронавтів, максимальна швидкість пересування 15 км/год, максимальна вага – 725 кг, дальність пересування – 35,7 км). Аналітичні методи дослідження складних механічних систем, вперше розроблені академіком і досі широко використовують в науково-дослідних установах багатьох країн світу та в СКБ заводів сільськогосподарського машинобудування та фірмах, що виробляють сільськогосподарську техніку.

Якщо ретельно проаналізувати широкий спектр наукових розробок академіка Василенка П. М., то за своїм змістом вони належать до трьох основних напрямів:

– класичні основи землеробської механіки, як однієї з галузей прикладної механіки;

– фундаментальні теоретичні механіко-математичні дослідження, спрямовані на розробку нових методів рішення задач аналізу і синтезу параметрів сільськогосподарських машин та машинних агрегатів, які досліджуються і проектуються;

– прикладні технічні розробки конструктивних елементів для створення принципово нових та модернізації існуючих зразків сільськогосподарських машин.

Перший з напрямів торкається застосування загальних фундаментальних принципів аналітичної механіки для розробки механіко-математичних методів рішення задач сільськогосподарського середовища, руху матеріальної точки і матеріальної частинки, системи матеріальних точок та твердого тіла.

Розвиток сучасних сільськогосподарських машин, як більш складних та багатомірних систем у порівнянні з простими сільськогосподарськими знаряддями та машинами, потребує більш фундаментальних механіко-математичних методів, зокрема, аналітичної механіки, що базуються на диференційних рівняннях динаміки Лагранжа, Гамільтона-Остроградського, Апеля, Чаплигіна, тощо. Методику складання та рішення таких складних систем диференціальних рівнянь для розрахунку параметрів сільськогосподарської техніки (машин і машинних агрегатів), яка проектується, фактично першим у світі почав розробляти саме академік Василенко П. М. Вчений науково обґрунтував та математично довів, що методи аналізу і синтезу, які широко застосовувались раніше, на підставі праць академіка Горячкіна В. П., та його учнів, для дослідження та проектування маломірних механічних систем і не складних сільськогосподарських машин, вже не достатні, якщо системи являються багатомірними та їх конфігурації відносяться не тільки до залежних, а й до незалежних координат. Для коректного вирішення задач з такими параметрами необхідно складати і розраховувати рівняння в'язів з застосуванням більш складних рівнянь Лагранжа II-го роду з неозначеними множниками, і надалі використовувати всі необхідні процедури для їх рішення.

Третій, прикладний, напрямок розробок вченого здійснювався через тісне співробітництво з СКБ та ГСКБ заводів сільськогосподарського машинобудування, що й давало можливість втілити вищезгадані теоретичні методи в проектування нових сільськогосподарських машин та їх робочих органів. Крім того, вченим безпосередньо здійснене дослідження, проектування та конструювання (і це впливає з його наукових праць та винаходів) багатьох ґрунтообробних, посівних, зернозбиральних та бурякозбиральних машин.

За вагомий науковий внесок у розвиток землеробської механіки, рішенням Президії ВАСГНІЛ, Василенку П. М. 7 грудня 1977 року була присуджена Золота медаль імені Горячкіна В. П. – найвища нагорода цієї академії в галузі механізації і електрифікації сільського господарства (йому було присуджено золоту медаль №3). До речі висунення кандидатури академіка Василенка П. М. на одержання ці-

єї медалі було здійснене Вченою радою Українського науково-дослідного інституту механізації та електрифікації сільського господарства, а не керівним органом сільськогосподарської академії, де він працював усе життя [2]. Слід зазначити, що після нагородження академіка Василенка П. М. протягом наступних років лише невелика кількість вітчизняних вчених були відзначені цією престижною нагородою. Серед нагороджених такою медаллю був і всесвітньо відомий вчений, Герой Соціалістичної Праці, академік АН СРСР Артоболовський І. І. Про щирість відносин, навіть дружбу з академіком Артоболовським І. І. свідчить той факт, що Петро Мефодійович мав з ним декілька статей, в тому числі і в головній газеті Радянського Союзу “Правда” [5]. В 1964 році академік Артоболовський І. І. дав у всесоюзному журналі схвальну рецензію на працю “Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства”, назвавши її цінною монографією. Низка його фундаментальних праці, без перебільшення, можна віднести до світової наукової скарбниці [3, 4, 6, 7].

Сьогодні є всі підстави стверджувати про видатну наукову школу, створену академіком Василенком П. М. Під його безпосереднім керівництвом захищено близько 40 кандидатських та 4 докторських дисертаційних робіт. Декілька його безпосередніх учнів стали докторами наук вже після його смерті. Також безліч докторів та кандидатів технічних наук, з усього колишнього Радянського Союзу, консультувались у вченого готуючи власні дисертації. Багато учнів академіка Василенка П. М. вже самі досягли значних наукових успіхів – працюють в дослідних лабораторіях та конструкторських бюро, очолюють кафедри, факультети і провідні науково-дослідні інститути країни, обрані член-кореспондентами та дійсними членами академій наук. Протягом багатьох років вчений був членом редколегій декількох наукових журналів та членом спеціалізованих вчених рад з захисту докторських дисертаційних робіт. Він постійно консультував співробітників наукових закладів, вузів та конструкторських бюро з питань методики проведення сучасних наукових досліджень та розробки нової сільськогосподарської техніки. Його наукові семінари з проблем землеробської механіки слухали в учбових та наукових закладах майже в усіх республіках колишнього Радянського Союзу.

А яким же був Петро Мефодійович Василенко у повсякденному житті? Якщо казати дуже коротко, то це була дуже скромна, але й дуже гідна людина. А ще він був досить вимогливим і принциповим, але й дуже справедливим. Якщо справа стосувалася науки, то його принциповість була особливо помітною. Він часто казав своїм учням: “Для того, щоб пізнати людину як вченого, треба подивитися його наукові (конструкторські) роботи, подивитися що він може, на що здатний”. Коли мова йшла про приймання когось до аспірантури, або



щодо призначення на ту чи іншу посаду він завжди питав: “А що він за людина? Який в нього характер?” Той хто потрапляв до його школи назавжди опинявся в полі його зору, залишався в центрі його уваги. Скромні побутові умови Петра Мефодійовича (ані розкоші, ані машини, ані дачі або маєтку у нього ніколи не було) і майже аскетичне його життя яскраво свідчать про риси справжнього видатного вченого, що присвятив все своє життя служінню науки.

Сімейне життя для Петра Мефодійовича склалося дуже вдало. Він більше ніж 60 років прожив у злагоді зі своєю дружиною Раїсою Миколаївною, з якою познайомився ще у Первомайську Миколаївської області. Дівоче прізвище Раїси Миколаївни – Цвітенко. Разом вони виховали трьох дітей: сина і двох дочок. Син Петра Мефодійовича – Володимир Петрович (1929 р.н.) у свій час успішно закінчив механіко-математичний факультет Київського державного університету та аспірантуру Інституту математики АН УРСР. Він кандидат технічних наук, учень всесвітньовідомого вченого – академіка АН УРСР та АН СРСР, Героя Соціалістичної Праці Ішлінського О.Ю. Старша з дочок, Галина Петрівна (1938 р.н.) закінчила агрономічний факультет Української сільськогосподарської академії. Молодша донька – Наталя Петрівна (1941 р.н.) закінчила філософський факультет Московського державного університету.

Сам учений джерелом свого творчого довголіття вважав споріднену працю та здоровий спосіб життя. Петро Мефодійович часто наголошував: “Відмова від паління та стримане вживання спиртного зберегли мені як мінімум 20 років життя і таким чином мій справжній біологічний вік не 98, а лише 75 років!” Вчений захоплювався рибалкою, активно цікавився суспільним та науковим життям в Україні та у світі. Близькі люди знали, що дійсна причина довголіття вченого полягала у гармонійних рисах характеру цієї людини, яка була все життя досить скромною, працьовитою та толерантною.

Петро Мефодійович мав, протягом усього життя, дуже добру пам'ять і був надзвичайно цікавим та уважним співрозмовником. Він міг годинами розмірковувати над нюансами філософських поглядів Толстого, Достоєвського або Ніцше, твори яких, за його словами, він досконально і з зацікавленням перечитав ще в юнацькі роки, під час навчання в Ольгинсько-Скаржинському сільськогосподарському училищі.

Протягом усього життя він ретельно збирав книги і в нього була чудова власна наукова бібліотека, яка нараховувала більш ніж 600 примірників. Безліч книжок було з художньої літератури. Багато років ретельно відбиралися і купувалися книжки українських письменників, особливою увагою користувалися книжки з історії України і світу. Він і своїх найближчих учнів постійно спонукав (заставляв) до

придбання різноманітних спеціальних та художніх книжок, чудово орієнтуючись в науковому та літературному світі. При цьому, його вимоги до придбання і ретельного вивчення учнями книжок були настільки дивними (на перший погляд), настільки точними. Так, він казав: “Треба якомога швидше відшукати і негайно купити книгу Лойцянького і Лур’є “Теоретична механіка”, видану саме у 1932 році. Видання цієї книги у 1934 році і у подальші роки не потрібні. Диференціальні рівняння треба вивчати по книзі Гренвіля і Лузіна, що видана у 1920 році, а не у якому іншому – треба купити в букіністичному магазині і використовувати саме її”. І всі ці тонкощі являлися правдою. Він щедро передавав учням свій досвід та знання.

Широке коло інтересів та невтомний потяг до знань допомагали вченому протягом усього життя не впасти у відчай і досить плідно працювати навіть у найтяжчі періоди нашої бурхливої історії. У двадцять першому та тридцять третьому роках тяжко терпіти від голоду, а в тридцять сьомому він міг за чиїмось наклепом бути оголошеним “ворогом народу” і знищеним, а тому він тоді тривалий час постійно чекав свого арешту. Але від цього врятувало Василенка П. М. те, що він був позапартійним, відмовлявся сам “свідчити” проти інших (хоча спонукання до цього були) та віддано служив науці. Стійко перенести жах внутрішніх репресій та пережити наступні окупаційні важкі часи і не втратити величезний потяг до життя і науки могла тільки дуже мужня, цілеспрямована та чесна людина. Знання, помножені на мудрість та життєвий оптимізм, допомагали Петру Мефодійовичу зберегти честь та гідність людини і вченого не тільки в важкі часи нашої історії, а й протягом усього мирного життя, в якому вистачало місця і на звинувачення, і на цькування і на чвари. Але все своє життя Петро Мефодійович був і залишився прикладом справжньої гідності і порядності як для членів своєї родини, так і для багатьох колег, учнів та наукових послідовників.

Багаторічна праця видатного вченого, протягом життя, була відзначена невеликою кількістю урядових нагород, серед яких орден “Знак Пошани” (1948 р.), Почесна Грамота Президії Верховної Ради УРСР (1980 р.), медалі: “Винахідник СРСР”, “Ветеран Праці”, 2 бронзові медалі ВДНГ СРСР, “В пам’ять 1500-річчя Києва”, “50 років Перемоги у Великій Вітчизняній війні” та “50 років визволення України”. В 1995 році Указом Президента України вченого було нагороджено “Почесною Відзнакою Президента України” з врученням медалі. Майже наприкінці життя, у 1997 році, вченого було відзначено Подякою голови Київської міської державної адміністрації – “За вагомий особистий внесок у створення духовних і матеріальних цінностей та досягнення високої майстерності у професійній діяльності”. Наприкінці ХХ століття Американський Біографічний Інститут (АВІ) підготу-

вав книгу “700 біографій найвидатніших людей планети цього століття”, чиї персональні наукові розробки, гуманітарні ідеї або політична діяльність значно вплинули на розвиток світової цивілізації. У цій книзі ім'я академіка Василенка Петра Мефодійовича стоїть поряд з іменами багатьох видатних вчених. Як одного з небагатьох “alive legends” (живих легенд), напередодні нового століття вченого за рішенням АВІ вшанували персональною Золотою медаллю Пошани 2-го тисячоліття.

Довгий життєвий та творчий шлях академіка Василенка Петра Мефодійовича є прикладом відданого служіння науці.

Помер Петро Мефодійович світлого весняного дня 21 квітня 1999 року від хвороби шлунка. Напередодні він передав кафедрі сільськогосподарських машин Національного аграрного університету (тепер НУБіП України), на якій працював майже все життя, власну наукову бібліотеку (більш ніж 500 примірників), рукописи своїх робіт та деякі особисті речі, які зараз зберігаються у музеї факультету механізації сільського господарства. Похований він поруч із своєю дружиною Раїсою Миколаївною (яку пережив майже на 6 років) на кладовищі у с. Новосілки (околиця Києва).

Останніми його думками, які він висловив своїм найближчим учням були: “Я прожив дуже складне, але гарне життя, я радий що в мене є багато учнів, які плідно продовжують мою справу, є в мене непогані наукові розробки”.

З нагоди сторіччя з дня народження видатного вченого у 2000 році було запропоновано щорічне проведення міжнародних наукових конференцій з актуальних проблем землеробської механіки, присвячених його пам'яті і які регулярно проводяться в день його народження. Було домовлено, що такі чергові конференції проводитимуться в різних містах України, де розташовані аграрні вузи і є факультети механізації сільського господарства, ювілейні ж дати з нагоди його народження й відповідно конференції проводяться в Києві.

В подальшому на пошану академіка було видано низку книг про його життя та наукову діяльність, захищено дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата історичних наук. Кафедра сільськогосподарських машин в Національному університеті біоресурсів і природокористування України, яку він очолював багато років, тепер носить його ім'я. На учбовому корпусі №7 НУБіП України, в якому розташована кафедра сільськогосподарських машин, де вчений працював фактично все життя встановлена меморіальна дошка. Згодом, вшановуючи пам'ять видатного вченого в галузі землеробської механіки, його ім'ям був названий Харківський національний технічний університет сільського господарства.

Справа видатного вченого, академіка продовжується у численних наукових працях його учнів та послідовників. Учні Василенка П.М. створили вже власні наукові школи, які плідно працюють в незалежній Україні, дбаючи про подальший розвиток науки з землеробської механіки та інженерно-технічного забезпечення галузі сільськогосподарського виробництва країни.

Наприкінці слід підкреслити, що на наш погляд, багаторічне життя, плідна творча праця й численні наукові здобутки цієї видатної людини України, незважаючи на всі труднощі та негаразди ХХ століття завжди здійснювались ним завдяки трьом мудрим життєвим принципам: почуттям людської гідності, внутрішній незалежності та особистої значущості. Пам'ять, яку залишив по собі академік Василенко П.М., слугує для всіх, хто мав щастя близько його знати, невичерпним джерелом творчості і натхнення, відданості справі науки. А для майбутніх поколінь, яким ще доведеться продовжувати справу, яку він заснував, життя і діяльність академіка П.М. Василенка завжди слугуватиме прикладом беззавітної відданості і служіння науки.

### Список літератури

1. *Василенко Петро Мефодійович: Біобібліогр. покажчик наук. праць за 1933-1999 роки / УААН, ЦНСГБ, Нац. аграр. ун-т; Упоряд.: Т. Ф. Дерлеменко, Л. Д. Полякова, Д. В. Устиновський, З. І. Варга, В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк; Наук. ред. Г. Г. Хурманець. – К., Аграрна наука, 2000. – 140. с.; порт. – (Біобібліогр. серія “Академіки Української академії аграрних наук” / УААН, ЦНСГБ, НАУ).*
2. *Академік Василенко П. М. – яскравий погляд у майбутнє / За ред. Булгакова В. М. та Калетніка Г. М. – К., Хай-Тек Прес, 2012. – 680 с.*
3. *Василенко П. М. Культиваторы: (Конструкция, теория и расчёт) / П. М. Василенко, П. Т. Бабий. – К.: Изд-во УАСХН, 1961. – 239 с.*
4. *Василенко П. М. Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства / П. М. Василенко, И. И. Василенко. – М.: Колос, 1964. – 384 с.*
5. *Василенко П. М. Земледельческая механика / П. М. Василенко, И. И. Артоболевский, А. А. Дубровский // Правда. – 1968. – 19 апр.*
6. *Развитие механизации и электрификации сельского хозяйства Украинской ССР / Н. П. Барабан, Н. И. Бублик, П. М. Василенко, И. А. Коваль, И. И. Мартыненко, И. П. Масло, А. А. Омельченко, Л. В. Погорелый и др.; АН УССР. Ин-т истории, Укр. науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва, Всесоюз. науч.-исслед. конструкт.-технол. ин-т по машинам для комплекс. механизации и автоматизации животновод. ферм, Науч.-произв. об-ние, Укр. с.-х. акад. – К.: Наук. думка, 1988. – 472 с.*
7. *Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.*
8. [www.nubip.edu.ua/node/16674](http://www.nubip.edu.ua/node/16674).
9. [www.library.kiwix.org/wikipedia\\_uk\\_all/A/Василенко\\_Петро\\_Мефодійович.html](http://www.library.kiwix.org/wikipedia_uk_all/A/Василенко_Петро_Мефодійович.html).
10. [www.uk.wikipedia.org/wiki/Василенко\\_Петро\\_Мефодійович](http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Василенко_Петро_Мефодійович).
11. [www.disszakaz.com/catalog\\_ukr/deyatelmznozmz\\_akad...ine\\_avtoreferat.html](http://www.disszakaz.com/catalog_ukr/deyatelmznozmz_akad...ine_avtoreferat.html).
12. [www.br.com.ua/referats/dysertacii\\_ta\\_autoreferaty/38235-6.html](http://www.br.com.ua/referats/dysertacii_ta_autoreferaty/38235-6.html).

13. [www.rusnauka.com/36\\_PVMN\\_2013/Istoria/3\\_152894.doc.htm](http://www.rusnauka.com/36_PVMN_2013/Istoria/3_152894.doc.htm).
14. [www.librar.org.ua/sections\\_load.php?s=agriculture&id=730&start=4](http://www.librar.org.ua/sections_load.php?s=agriculture&id=730&start=4).
15. [www.library.kiwix.org/wikipedia\\_uk\\_all/A/Василенко\\_Петро\\_Мифодійович.html](http://www.library.kiwix.org/wikipedia_uk_all/A/Василенко_Петро_Мифодійович.html).
16. [www.nubip.edu.ua/en/node/2897](http://www.nubip.edu.ua/en/node/2897).
17. [www.referatus.com.ua/download/135/44626/akademik-pmvas...kovoyi-shkoli-ze.doc](http://www.referatus.com.ua/download/135/44626/akademik-pmvas...kovoyi-shkoli-ze.doc).
18. [www.books.khntusg.com.ua/?q=node/305/](http://www.books.khntusg.com.ua/?q=node/305/).
19. [www.proftekhosvita.org.ua/static/files/vebzh-lchervvip212010.doc](http://www.proftekhosvita.org.ua/static/files/vebzh-lchervvip212010.doc).

*Приведены основные этапы жизни, педагогической и научной деятельности Василенко П. М. – академика Украинской академии аграрных наук, выдающегося ученого в области земледельческой механики. Академик Василенко П. М. известный далеко за пределами нашей страны фундаментальными исследованиями по вопросам теории и методов расчета почвообрабатывающих, посевных, зерноуборочных и свеклоуборочных машин и в области динамики и устойчивости движения сельскохозяйственных машин. За выдающиеся научные достижения в развитие теории и практики земледельческой механики, за создание научной школы Василенко П. М. награжден государственными наградами и высшей наградой в области сельскохозяйственной механики – Золотой медалью им. Горячкина В. П.*

***Академик, ученный, учитель, земледельческая механика.***

*The main stages of life, teaching and research activities Petro M. Vasilenko – Academician of the Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, an outstanding scientist in field of agricultural mechanics. Academician Petro M. Vasilenko known far beyond our country's fundamental research on the theory and methods of calculation of tillage, sowing, grain and beet machines and in di-dynamics and stability of the motion of agricultural machinery. For outstanding scientific achievements in the development of the theory and practice of agricultural mechanics, for the creation of scientific school Petro M. Vasilenko awarded state awards and highest award in field of agricultural mechanics – Gold Medal of Vasyl P. Goryachkin.*

***Academician, scientists, teachers, agricultural mechanics.***

## НАУКОМЕТРІЯ ЯК ЗАСІБ ІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНСЬКОЇ НАУКИ У СВІТОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР

*І. І. Ібатуллін, доктор сільськогосподарських наук,  
академік НААН*

*А. В. Шостак, кандидат соціологічних наук*

*Стаття містить переконливі аргументи про необхідність вимірювання якості і ефективності наукових досліджень. Розглянуті можливості наукометрії, її інструментарій. У сучасних умовах глобалізації економічного життя розвинуті країни, де наука виконує роль головного економіко-відтворювального фактору, забезпечують свій розвиток за рахунок вдосконалення існуючих технологій, техніки та використання принципово нових наукових досягнень. Міжнародний технологічний та науковий обмін, трансфер інтелектуального потенціалу – одна з ознак нашого часу. Зрозуміло, що Україна стане процвітаючою державою тільки тоді, коли вона зможе комплексно і ефективно освоїти в своїх інтересах територію та ресурси, якими володіє. Але зробити це неможливо без тісної економічної і технологічної співпраці з розвинутими країнами. Тому стратегічною метою для України повинно бути її входження до міжнародних науково-технічних потоків, які дозволять модернізувати вітчизняне виробництво, забезпечити конкурентоспроможність основних галузей промисловості.*

***Наукометрія, міжнародні бази даних, оцінювання якості освіти, індекс Хірша, імпаکت-фактор, наукові дослідження, інтеграція, інформаційний простір.***

Став очевидним той факт, що наукова сфера III-го тисячоліття зазнає бурхливих і масштабних змін. Завдяки новим інформаційним технологіям вчені з різних континентів працюють у єдиному науковому просторі, ніби в одній лабораторії. Якщо раніше технології служили науці, то сьогодні наука служить розвитку технологій. Світові наукові витрати складають 1,2 трлн доларів, у той час як на розвиток інформаційних технологій витрачається 3,5 трлн. Тому актуальною стає оцінка якості досліджень, котра дозволяє визначити шляхи подальшого розвитку науки і її внесок у розвиток технологій та зробити відповідні інвестиції.

**Постановка проблеми.** Наука є складовою духовної культури. Тому прямого методу оцінки якості наукових результатів не існує і

© І. І. Ібатуллін, А. В. Шостак, 2015

проводиться оцінка побічна, опосередкована, через різноманітні наукометричні показники.

Немає і оптимальної системи оцінки якості наукових досліджень. Створення універсальної міжнародної моделі, з нашої точки зору, пов'язане з труднощами, тому що країни пройшли різні шляхи і знаходяться на різних рівнях наукового розвитку. В США і розвинених країнах Європи критерієм слугує кількість лауреатів престижних премій (Нобелівська, Абеля, Філдсовська...) і статей, опублікованих у журналах *Nature*, *Science*, *New Scientist* та інших. Багато країн, для котрих такі досягнення на даний час видаються неможливими (Китай, Польща, Росія, Україна, країни СНД та інші), розробляють свої методи оцінювання якості наукових досліджень, котрі враховують національну специфіку розвитку науки та її стан. Видається за можливе створення спільного підходу, на основі якого для групи держав з близькою науковою атмосферою міг би бути розроблений єдиний ефективний метод оцінювання якості наукових досліджень. Оцінка якості наукових досліджень представляє державний інтерес, тому що основним джерелом фінансування науки є держава. Головна її (держави) мета – забезпечити ефективний розвиток економіки, а він напряду пов'язаний з розвитком науки, яка, таким чином, являється одним із важелів розвитку держави. Всі розвинуті країни (США, Канада, Японія, Німеччина, Англія, Франція) мають високий рівень науки. Економічне зростання, котре ми спостерігаємо в Азійському регіоні (наприклад, Китай, Південна Корея, Малайзія, Сінгапур) почасти пов'язане із зростанням інвестицій у наукові дослідження в цих країнах, зокрема, з боку крупних приватних компаній (Samsung, Sony, Phillips та інших).

У 2012 році Президент США Барак Обама, виступаючи перед членами Національної академії наук США і Національної інженерної академії США, підкреслив, що одним із факторів виходу з світової кризи являється розвиток науки і технологій і збільшив щорічні видатки на науку у чотири рази (400 млрд доларів). Щорічні видатки на науку Європейського Союзу складають 270 млрд, Японії і Китаю – по 140 млрд. В США в рік на одного вченого витрачається біля 260 тисяч доларів, і це світовий рекорд. У розвинених країнах цей показник складає 150-180 тисяч, в Росії – 15 тисяч, в Азербайджані – 10 тисяч, в Україні – 7 тисяч. Для розвитку економіки важливе зростання коштів, що вкладуються у науку, а без оцінювання ефективності наукових досліджень складно планувати такі інвестиції

**Аналіз останніх досліджень.** Бувший Союз витрачав на науку 5 % ВВП, він був у числі світових лідерів за цим показником. У 60-70-х роках ХХ сторіччя лише на мехматі МДУ імені М. В. Ломоносова було понад 30 видатних математиків – за всю іс-

торію світової науки важко знайти науковий підрозділ, де одночасно працювала б така кількість вчених, з іменами яких були пов'язані повномасштабні наукові напрямки. Це стало можливим завдяки достатньому матеріальному забезпеченню вчених і ефективній державній політиці в галузі науки. В країні була потужна система фундаментальних і прикладних досліджень, працювали 1,5 млн наукових дослідників – приблизно одна чверть всіх наукових працівників у світі. За останні роки у всіх країнах спостерігається зменшення кількості вчених, окрім США і Китаю, де ця цифра зростає (наразі досягла 1,5 млн). Розвитком науки і технологій можна пояснити стрімке зростання ВВП Китаю (становить понад 8 трлн доларів), котрий, обігнавши Японію, став після США другою економікою світу (не рахуючи ЄС, там ВВП – 16 трлн). Ефективне інвестування коштів у науку залежить від якості наукових досліджень. Для їх оцінювання важливе значення має вироблювана наукова продукція (статті, патенти) і світові відгуки (наукові посилання) на ці результати. Тому представляє жвавий інтерес вибір ефективних наукометричних параметрів, таких як: 1. наявність визнаної в світі наукової продукції (статті, що публікуються в журналах з високим імпаکت-фактором і патенти прийняті на міжнародному рівні); 2. відображення наукових результатів у світовій науці і їх вплив на розвиток різних галузей (посилання у провідних виданнях, індекс цитованості, індекс Хірша тощо); 3. міжнародне співробітництво.

Якщо перших два фактори практично відображені в Інтернеті і журналі JCR (Journal of Citation Report), то на останньому факторі варто зупинитись детальніше.

Всі видатні наукові відкриття останніх років (розшифровка людського геному, відкриття графена, бозона Хіггса, революція в фізіології Дж. Шостака та ін.) стали можливими завдяки спільним зусиллям вчених різних країн і континентів, оскільки сучасна наука – поняття колективне. Тому велике значення має міжнародне співробітництво, яке проявляється у сумісних наукових статтях і грантах з провідними науковими центрами. Ще однією важливою характеристикою не лише міжнародного співробітництва, але й визнання на міжнародному рівні є запрошення вчених у провідні наукові центри для виконання спільних наукових досліджень та читання лекцій. Ці фактори також відображають ефективність наукових досліджень і процес їх оцінювання повинен періодично удосконалюватись. Саме це і робиться у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за допомогою запровадженої рейтингової системи.

Важко порівнювати такі галузі науки як біологія і математика, бо імпакт-фактори журналів в галузі біології досягають 60, у той же час як у математиці вони не перевищують 5. Тому одним з підходів



може бути врахування імпаکت-факторів журналів в залежності від галузі досліджень.

Питання оцінки якості наукових досліджень знаходяться у центрі уваги Національної академії наук Азербайджану (НАНА) і неодноразово обговорювалось на засіданнях Президії НАНА. Розроблена інформаційна технологія оцінки якості наукових досліджень, в основу якої були покладені названі вище фактори. Мета створення цієї технології – визначення пріоритетних напрямків науки і ефективне виділення державних коштів, скорочення чи створення нових наукових підрозділів в залежності від результатів їх функціонування тощо. Наразі кошти, що виділяються на наукові дослідження, складають 0,2 % ВВП Азербайджана. Ставиться завдання збільшення цих коштів. А без оцінки якості наукових досліджень підготувати відповідні рекомендації для уряду практично неможливо. Розроблений підхід містить у собі п'ять факторів:

1. Фактор, котрий характеризує наукову продукцію структурних підрозділів. Кількість статей, опублікованих у наукових журналах, що мають імпаکت-фактор, а також міжнародних патентів, підготовлених співробітниками НДІ за останні 5 років в розрахунку на одного дослідника. Для всіх журналів вводиться вага, що відображає як імпакт-фактор журналу, так і кількість аналогічних журналів. Заохочуються підрозділи, що публікують статті в різних журналах з високими імпакт-факторами, тому що це означає більш широке визнання отриманих результатів. Пропонується формула для таких обчислень.

2. Фактор, що відображає значущість отриманих результатів. Середнє число посилань на одного наукового дослідника. Для деяких країн СНД можна додати посилання, зроблені в журналах, котрі не мають імпакт-факторів, але користуються авторитетом на просторах СНД. Наприклад, «Вісники» провідних університетів України, НАНУ, галузевих державних академій. В Росії це деякі наукові часописи серії «Известий РАН». Необхідно виключити із цього фактору самопосилання і самоцититування і надати перевагу тим підрозділам, на котрі робляться посилання у провідних журналах і виданнях.

3. Фактор, що підтверджує міжнародне визнання та зацікавленість до робіт дослідників. Запрошення вчених у провідні міжнародні центри для проведення сумісних досліджень і читання лекцій. Це свідчить про значущість здійснюваних наукових досліджень, а також їх визнання на міжнародному рівні.

4. Фактор міжнародного співробітництва. Кількість сумісних статей і грантів з відомими науковими центрами.

5. Фактор, що відображає ефективність досліджень. Відношення вищевказаних публікацій до загального числа статей і патентів, опублікованих науковим підрозділом.

Введення цього фактору (показника) дозволить зупинити вал статей, котрі публікуються у маловідомих і малозначущих журналах. Прикро, що на теренах СНД існують журнали, в яких за відповідну платню можна опублікувати статтю і публікації в таких журналах у деяких країнах продовжують враховуватися при присвоєнні наукового ступеня. Що там говорити, коли в Україні подібних «наукових» видань понад тисячу і точної цифри ніхто не знає. Це різноманітні «вісники», «збірники», «часописи», «наукові записки», ювілейні видання тощо. У той же час з цієї тисячі реально депоновані у міжнародну БД Scopus лише 35 журналів різних напрямків. Світова наукова спільнота може знайомитись із працями українських учених лише через публікації у цих журналах.

Важливим фактором являється також індекс Хірша як для окремих дослідників, так і для наукових підрозділів. Хоч цей показник викликає багато суперечок і обговорень, тим не менше його також необхідно відображати серед перелічених факторів, але лише через базу даних Thomson Reuters, бо індекс Хірша, отриманий через Google Scholars, являється надто завищеним и не відображає істинну ситуацію. Ми б навіть сказали так, що пошукова система Google Scholars надто ретельно «вишкрібає» всі наявні публікації, у тому числі і у малозначущих виданнях, тому індекс Хірша насправді не завищений, а дещо знецінений. Так працює зручна і популярна австралійська пошукова програма «Publish or Perish» (Публікуйся або Загинеш). Ця програма «бачить» (у тому числі) і публікації у все-світньовизнаних базах даних Scopus та Web of Science, важливо лише правильно вписати ім'я і прізвище автора з точки зору транслітерації. Надання вищепереліченим факторам деяких вагових значень залежить від країни. В Азербайджані ці фактори розподілені наступним чином. Перший – 35%, другий – 25%, третій – 20%, четвертий і п'ятий – по 10%. Підрозділ, що має максимум по якомусь фактору, отримує максимальний бал. Решта підрозділів отримують бали по відношенню до максимального. Такий ваговий розподіл для Азербайджана пов'язаний з тим, що публікація статей в журналах з імпаکت-фактором і посилання мають на сьогодні актуальне значення для країни, хоч з часом перевага може бути надана міжнародній співпраці і міжнародному визнанню здійснюваних досліджень. Все це у повній мірі стосується України. Розроблена у НУБіП України методика оцінювання (визначення рейтингу) структурних підрозділів за зовнішніми критеріями (показниками) повністю враховує перелічені нюанси і пріоритети.

Серед вказаних факторів відсутнє число лауреатів престижних премій, як це прийнято у світових рейтингах. Наприклад, Шанхайська модель, рейтинг THE (Times Higher Education-QS 2014-2015) та ін-

ших. Відзначимо, що даний підхід розроблявся для Національної академії наук Азербайджану, де відсутні такі лауреати, хоча в Росії цей фактор може бути врахований. З іншого боку, особи, що удостоїлись таких високих нагород, як правило, до присудження публікують багато статей у провідних світових виданнях і на їхні праці існують численні посилання. Більш того, до отримання престижних медалей і премій вони неодноразово запрошуються у різні провідні світові наукові центри, що побічно враховано у вищевказаних п'яти показниках. У читача може виникнути питання: чому при розгляді проблем наукометрії автор статті посилається на Азербайджан? А тому, що саме у цій країні стан справ з наукою порівняний з Україною, бо серед пострадянських республік є такі, що наразі вирвались дещо вперед – це Прибалтика, Білорусь, Росія.

В НАНА розроблена і впроваджена також інформаційна технологія персонального оцінювання діяльності наукових досліджень, котра включає біля 30 параметрів, де враховані присудження престижних нагород, пленарні доповіді на всесвітніх форумах, конференціях, опублікування монографій у провідних наукових виданнях, підготовка кадрів та інші параметри. Аналогічні методики оцінювання якості наукової праці розроблені і в НУБіП України. Перед українською науковою спільнотою стоїть завдання збільшити у найближчі 2-3 роки долю публікацій українських дослідників у загальній кількості публікацій у світових наукових журналах, індексованих в БД "Web of Science" та "Scopus" до 2,44 % в порівнянні з 1,77 % у 2015 році; 8 пріоритетних напрямків розвитку української науки, серед яких науки про життя і перелік критичних технологій, який містить у собі 27 пунктів, включаючи геномні, протеомні і постгеномні технології, кліткові технології, нано-, біо-, інформаційні технології, біоінженерію та ін., котрі відповідають міжнародним тенденціям і їх головна стратегічна мета – вступ України до міжнародного наукового співтовариства та здійснення наукових досліджень на міжнародному рівні.

Незважаючи на те, що за показниками внутрішніх витрат на дослідження і розробку з розрахунку на 1 дослідника Україна суттєво відстає від розвинених країн (у 2010 році ці витрати дорівнювали у нашій країні 16,8 тис. доларів США, в той же час як у Росії даний показник становив 59,7 тис. доларів США; в Швейцарії – 394,7 тис. доларів США; в США – 264,2 тис. доларів США; в Германії – 254,9 тис. доларів США; в Австрії – 244,9 тис. доларів США), українські вчені повинні бути орієнтовані на міжнародні критерії оцінювання, для яких до того ж розроблені зручні системи розрахунку та системи індексування публікацій (<http://www.isiknowledge.com>, <http://www.scopus.com>, <http://elibrary.ru/>).

Необхідно відзначити, що такі критерії, як кількість публікацій у рейтингових журналах, загальна кількість цитувань, імпаکت-фактор журналу, максимальне цитування однієї роботи та індекс Хірша відносяться до оцінювання фундаментальних досліджень за галузями науки (біологія, фізика, фундаментальна математика, хімія тощо). Для прикладних досліджень та досліджень, що проводяться у закритому секторі необхідно використовувати свої критерії, які у даній статті не розглядаються. Більш правильно, на наш погляд, буде використання критеріїв і проведення оцінювання з урахуванням специфіки досліджень, котрі можна об'єднати у 2 групи: фундаментальні, з одного боку і прикладні та інноваційні – з іншого. При цьому завжди виникають складнощі з формуванням цих груп, незважаючи на те, що вони чітко визначені: фундаментальні дослідження – це генерація наукових знань, прикладні дослідження – створення передумов чи власне самих нових продуктів. Таким чином, до основних критеріїв оцінки фундаментальних досліджень можна віднести: загальне число публікацій; загальне число цитувань; імпакт-фактор журналу; максимальне цитування однієї роботи; індекс Хірша. Ці критерії приводяться у всіх 3 базах даних [WoS, Scopus, Російський індекс наукового цитування (далі РІНЦ)], тобто, всі оцінки вже зроблені і ніяких додаткових критеріїв створювати не потрібно, оскільки вони не будуть хоч щось вартувати для міжнародної наукової спільноти і лише викривлять об'єктивну картину.

**Результати досліджень.** В Україні традиційно результативність вченого оцінювали за кількістю статей. Цей «валовий» показник до цього часу смакують деякі «видатні» українські вчені: аякже, має 200, 300...700 публікацій! Але ж стаття – це квінтесенція завершеної багатолітньої дослідницької роботи наукової лабораторії, кафедри, творчого колективу чи окремого науковця. Причому, з результатами апробації чи впровадження. Або, як кажуть, плід багатолітніх роздумів, глибокого аналізу тощо. У нас же є науковці, для котрих написання статті переросло в хобі, публікуються всюди, без розбору, на будь-які теми, така собі забава: «а не толкнуть лі мене очередную статейку». Знаю вчених, які продукують цей делікатний, насправді складний продукт, як із рога достатку – щотижня (!) публікуються у якомусь виданні. На кшталт плодовитого журналіста із популярних ЗМІ. А про те, що ці «праці» маловідомі в Україні і зовсім невідомі за кордоном, про те, що *на* них ніхто не посилається і ніхто не цитує ні в Україні, ні за кордоном – про це сором'язливо мовчать. Отож пишуть, фактично, самі для себе. Користь від такої «діяльності» вельми сумнівна. Швидше шкода, тому що відволікають час і ресурси. Ось чому для оцінки якості наукових публікацій застосовують давно вже прийнятий у світі показник (індекс) цитованості. Нарешті,

в 2005 р. американський фізик Хорхе Хірш придумав індекс власного імені:  $h$ -індекс. Індекс обчислюється на основі розподілення цитувань робіт даного дослідника. Наприклад, у дослідника є 1 стаття з 9 цитуваннями, 1 стаття з 8 цитуваннями, 1 стаття з 7 цитуваннями, ..., 1 стаття з 1 цитуванням кожної з них, то його  $h$ -індекс дорівнює 5 (бо на 5 його статей послались як мінімум по 5 разів). Зазвичай розподіл кількості публікацій в залежності від числа їх цитувань  $q$  в дуже грубому наближенні відповідає гіперболі:  $N(q) \approx \text{const} \times q^{-1}$ . Координата точки перетину цієї кривої з прямою  $N(q)=q$  і буде дорівнювати індексу Хірша (рис. 1). Більш розлого це викладено у журналі «Пропозиція» №1 за 2011 рік.

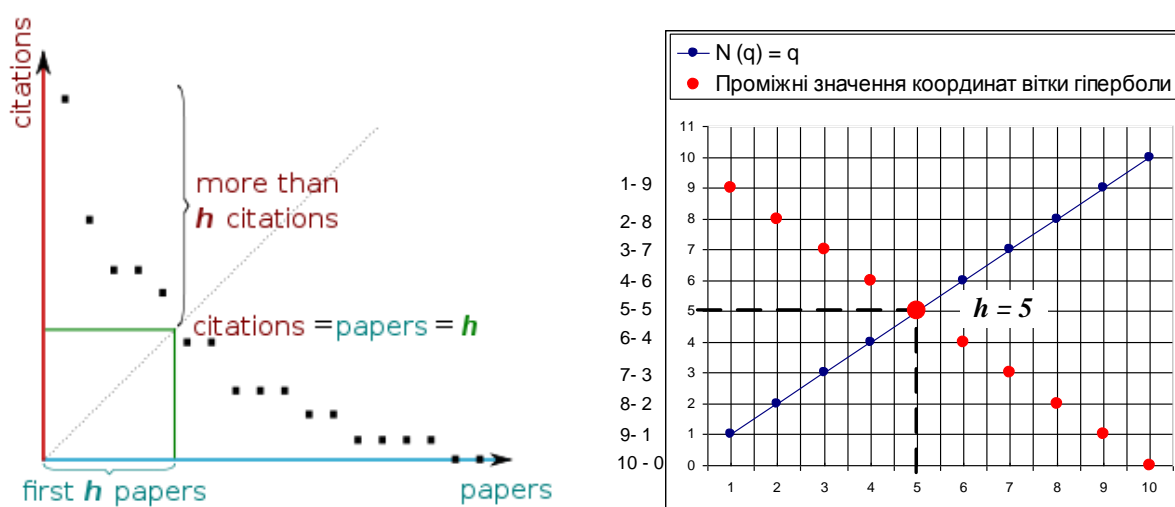


Рис. 1. Значення  $h$ -індексу в залежності від кількості публікацій та їх цитувань.

Рисунок демонструє зменшення цитованості із збільшенням порядкового номеру публікації. Хірш-індекс приваблює тим, що виділяє стабільних вчених – так званих enduring performers, – які видають багато хороших (цікавих та потрібних, а значить і багаточитованих!) робіт. На наш погляд, він є вдалим доповненням до інтегральних параметрів типу повної цитованості.

Всім очевидно, що продуктивність вченого не можна звести до одного числа. А ось хороший набір параметрів вже може давати (хоча б у середньому) досить адекватну картину. Фахову експертну оцінку це ніколи не замінить, але не завжди її можна отримати. Тому діяльність по розробці нових індексів і модернізації існуючих є досить осмислена і затребувана. Існує велика кількість модифікацій індексу Хірша. Різні варіанти прагнуть врахувати само-цитованість, розділити оглядові і оригінальні статті, врахувати фактор часу, дати більшу вагу статтями з високою цитованістю тощо. Відсіяти так звані «братські могили» – численні друковані матеріали локальних конферен-

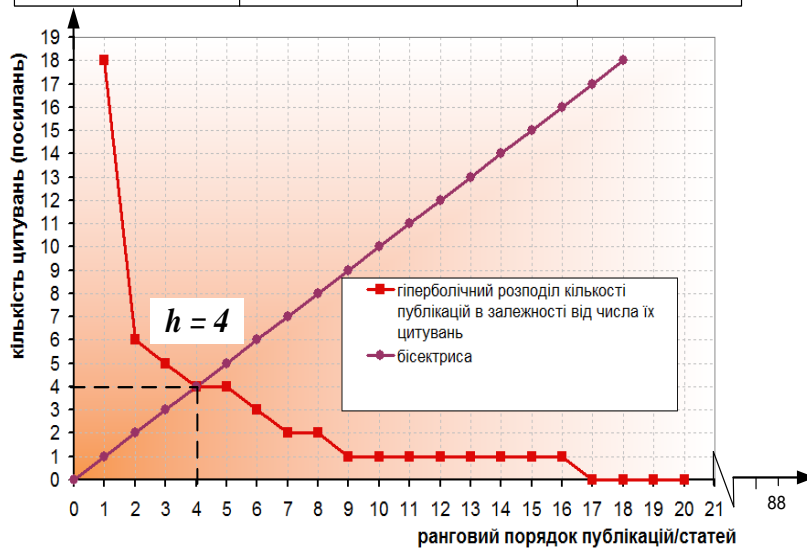
цій, наукові збірники, вісті, відомості і навіть деякі інститутські та університетські вісники, роль яких у науковій комунікації надто мала: в них хоронять і перезахоронюють статті аспірантів, дисертантів, докторантів і пошукачів. До речі, цікаве спостереження: щойно журнал стає ВАКівським, як відразу втрачає своє наукове обличчя. Уявіть собі, в Україні понад 1500(!) таких видань, хоч ніхто точної цифри не знає. Більшість з них не «оцифровані», не мають адреси в інтернеті і не реферовані до відомих баз даних, їх наклад 50-150 примірників: не кожен дописувач в змозі отримати хоч би один екземпляр. Велика кількість наукових збірників завдає значної шкоди українській науці, вважає професор, член-кореспондент НАНУ Анатолій Білоус. На його думку, ці збірники і вісники відволікають вчених від написання статей до міжнародно-реферованих наукових журналів, де їхній доробок був би кориснішим для світової науки. «Розвелось дуже багато ВАКівських збірників. Я вважаю, що ті люди, які провели через ВАК і затвердили ці збірники, завдали надзвичайно великої шкоди науці, – заявив Анатолій Білоус. Це є фактично самовидання, які ніхто не контролює, не рецензує, які нікому не потрібні, які ніхто у світі не читає». На думку професора, об'єктивним показником успішності вченого є не кількість публікацій в українських збірниках, а його  $h$ -індекс, який обчислюється на основі кількості посилань у працях інших вчених, які друкуються в міжнародно-реферованих журналах.

Як вже відмічалось, після знаменитої статті Хірша, в якій був введений  $h$ -індекс, з'явилось безліч спроб модифікувати цей показник або ввести свій. Нагадаю, що  $h$ -індекс показує число статей з цитованістю більше  $h$  (тобто індекс, що дорівнює 12, показує, що у вченого є 12 статей з цитованістю вище 12). Індекс Хірша очевидно нівелює наявність у вченого декількох суперцитованих статей (наприклад, якщо вчений написав суперроботу з цитованістю 10000, а потім робив середні добротні роботи, кожна з яких отримувала цитованість 10, то до індексу Хірша 12 він ніколи не добереться, хоч за суперроботу йому може вже нобелівку вручили). Власне, індекс Хірша для цього і не призначений. Він показує продуктивність. Можна використовувати його разом з традиційним повним цитуванням, і тоді все буде непогано (важливо тільки якось враховувати динаміку набору індексів). У 2006 році бельгійський доктор математики *Leo S.J. Egghe* запропонував  $g$ -індекс, який намагається одним числом описати і  $h$ -index, і внесок невеликого числа суперстатей. Цей індекс показує число статей, які дозволяють набрати цитованість  $g^2$ . Якщо є вчений, у якого є одна стаття з цитованістю 10000, і 99 статей з нульовою, його індекс  $g$  дорівнюватиме 100, тобто буде дуже високим. Його також можна набрати, наприклад, маючи 100 статей, кожна з яких має цитованість 100. Якщо розподіл статей за цитованістю дос-

татньо гладкий, то два індекси ( $h$  і  $g$ ) будуть досить близькі один до одного (скажімо, за даними *NASA ADS* у д-ра М. Березового  $h=11$ ,  $g=15$  при повній цитованості понад 300 і найбільш цитованій роботі з результатом 32; все це з урахуванням самоцитованості). Однозначно, що облік самоцитовування впливає на індекс  $g$ . Вплив сильніший, ніж на хіршевський індекс (це зрозуміло, тому що у випадку  $h$ -індексу самоцитовування впливає тільки поблизу критичного значення, а для  $g$ -індексу вплив важливий "всю дорогу", тому що індекс інтегральний). *Leo C.J. Egghe* вважає, що це показує перевагу  $g$ -індексу.

Визначення індексу Хірша на прикладі професора В. Сидоренка (Національний університет біоресурсів і природокористування України), який опублікував 88\* статей із загальною кількістю цитувань 52 (за даними БД Scopus),  $h$ -індекс = 4  
Зробимо таблицю

К-ть публікацій	К-ть цитувань у Scopus	$h$ -індекс
88	52	4



\* на статті 17...88 посилання/цитування відсутні

Розставимо у ранжований ряд

Порядковий № статті	Кількість цитувань
1	18
2	6
3	4
4	4 $h$ -індекс
5	3
6	2
7	2
8	1
9	1
10	1
11	1
2	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	0
...	0...
88	$\Sigma$ 52

Рис. 2. Геометрична інтерпретація  $h$ -індексу.

Це так, але тільки після «вчищення» самоцитовування. Нам здається, що вірно і твердження про те, що невчищений  $h$ -індекс краще невчищеного  $g$ -індексу. Ми здійснили анатомічний аналіз і детально розглянули фізичну суть деяких інструментів наукометрії, а саме – її індексів. Саме індексу Хірша найбільше «дісталось» у процесі дискусії. Проте ми бачимо, що різні спроби удосконалити його або замінити іншим критерієм теж виглядають не зовсім переконливо, а швидше зовсім не переконливо.

Так як же, все-таки, у польових умовах визначити крутість вченого чола? Візьмемо, для прикладу, відому американську вчено-біохіміка *Titia de Lange*, що вивчає теломери ссавців. Якщо відсортувати всі її 148 статей за їх цитованістю, починаючи з найкращої, то можна побудувати таку гістограму (рис. 3).

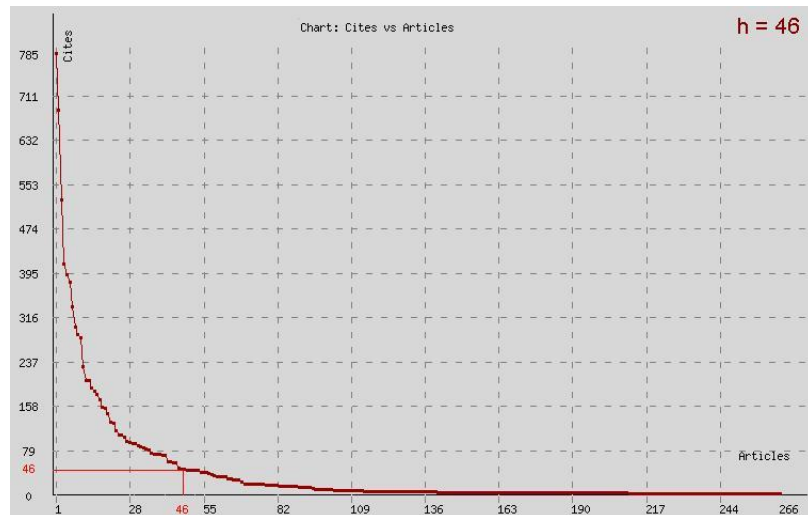


Рис. 3. Статтю №46 процитували 46 разів – це і є *h*-індекс *de Lange*.

Неважко помітити, що статті з номерами вище 46 ніяк не впливають на *h*-index пані *de Lange*, як ніби вона їх не писала зовсім. З іншого боку, *h*-index ніяк не пов'язаний з високим рівнем цитування її статей під першими номерами (785 для №1). Можна зробити висновок, що *h*-index відображає головну чесноту постіндустріальної науки – регулярне виробництво якісної наукової інформації – не більше і не менше. По-перше, індекс не розрізняє порядку авторства в статтях (а отже їх нерівний внесок), тому мабуть він є більш релевантним для асистентів і завлабів, яким зазвичай належить останнє місце в списку авторів статей. По-друге, він не враховує контексту цитування, який може бути за просто негативним. По-третє, індекс мало прийнятний для оцінки молодих вчених, для яких він часто просто дорівнює кількості опублікованих статей. По-четверте, не підраховуються книги (і це дуже серйозний недолік). Крім того, з часом зростає кількість цитувань уже опублікованих раніше робіт, так що *h*-index може збільшуватися навіть після смерті вченого. У формальних показників завжди знайдуться свої слабкі місця. Добротну статтю пишуть значно довше, вона є квінтесенцією реальних наукових досліджень із впровадженим результатом, інколи таку статтю починають цитувати через кілька років. А індекси враховують лише «миттєві» цитування, за 2 попередніх роки. Новаторів цитують із запізненням, а буденний мейнстрім – відразу. Тому «правильні» автори втрача-



ють у показниках, а халтурники зростають – і збивають ціну індексу. І, нарешті, *h-index* сильно залежить від кількості потенційних референтів – не дивно, що серед біологів найвищі індекси належать вченим, що працюють в гарячих областях науки.

Головне достоїнство індексу Хірша, як дослідницького інструменту оцінювання науки, на відміну від міфічного персонального індексу цитування та інших вельми громіздких «удосконалень» – простота обчислення. Можна залізити у пошукову систему *Google Scholar*, вбити в рядок пошуку ім'я автора та отримати список його статей з позначками: скільки разів і де цитується кожна стаття. Але вручну обчислювати *h-index* не варто. Ми це показали у даній статті на прохання багатьох дописувачів з метою продемонструвати, роз'яснити фізичну суть такого унікального індикатора науки, як індекс Хірша. Важливо було збагнути, що ранжований ряд цитованих статей при визначенні *h*-індексу складається не хронологічно, їх нумерація йде по спадаючому числу цитувань кожної наступної статті. Якщо у професора В. К. Сидоренка 7 стаття (за хронологією) буде цитуватись не 2 рази, а 19, то у ранжованому ряду вона буде №1 (рис. 2). Іншими словами, потрібно знати статистику по кожній статті. Вчені з університету Салоніки, що в Греції, створили цікавий пошуковик *QuadSearch*, який сам залазить в бази, знаходить у тенетах наукову літературу, за секунди обчислює *h-index* і менш популярний індекс пана *Leo Erte* (*g-index*), будує графіки та дає перелік статей автора і кількість посилань на них. *QuadSearch* (КвадроПошук) – цілком придатний для складання рейтингів і має незаперечний плюс – безкоштовний доступ.

Втім, слід зауважити, що ця пошукова програма обраховує, в основному, праці, які містяться в *Google Академії* (та це вже проблеми авторів, які повинні знати і усвідомлювати, в якій БД депонований обраний ними журнал). Як вже зазначалось вище, у світі є 2 загальноновизнані бази даних (БД) Американська приватна корпорація *Thomson Reuters Corporation* має потужну БД *Web of Science*, скорочено *WoS*. Голландська видавнича корпорація *Elsevier* має найбільшу в світі бібліографічну і реферативну БД *SCOPUS*, яка є інструментом для відстеження цитованості статей. Пошуковий апарат *SCOPUS* інтегрований з пошуковою системою *Scirus* для пошуку веб-сторінок та патентною базою даних.

Саме за даними цих двох БД ведеться найбільш авторитетний і достовірний підрахунок імпаکت-факторів журналів та індексів цитування. Щоб розібратись, які журнали присутні у цих базах, яка система підрахунку, за якими критеріями йде відбір, треба, крім знання англійської, мати доступ до цих БД. А він можливий лише за умови передплати через веб-інтерфейс, а це коштує десятки тисяч дола-

рів. Саме так корпорації відшкодовують свої гігантські вклади у ці проекти. Отож і виходить, що вчений регулярно публікується у якомусь спеціальному журналі, проте знаходиться у «сліпій» зоні, тому що цей журнал не реферований до вказаних БД. Росія значно просунулась у цьому напрямку і створила свою власну систему з визначення індексу цитування – *російський індекс наукового цитування (РИНЦ)*. Ця система ще далеко не співставна по охопленню з *Thomson Reuters Corporation*, але динамічно розвивається.

### **Висновки**

1. Україна впевнено посідає перше місце у світі за густиною кадрового науково-технічного потенціалу, значно випереджаючи Японію, Ізраїль, Росію і США. В той же час за рівнем продуктивності національної економіки Україна займає тільки 82-ге місце у світі, програючи Японії у 10,8 рази; Ізраїлю – у 7,8; Росії – у 1,9; США – у 13,2 рази. Такий вражаючий розрив між наявним ресурсом одного з головних факторів економічного росту та рівнем національної продуктивності є характерним для всіх постсоціалістичних країн. Так, відповідно за показниками, що порівнюються, ці країни займають місця: Росія – 4 та 59; Болгарія – 5 та 61; Білорусь – 10 та 52; Естонія – 11 та 50; Словенія – 13 та 26; Словаччина – 22 та 36; Румунія – 28 та 58; Польща – 35 та 46; Угорщина – 33 та 39.

2. В українській науково-технічній сфері утворилася ситуація зачарованого кола: великий ресурс не може бути адекватно профінансований, що у свою чергу спричиняє низьку його економічну ефективність, що, далі, спричиняє брак коштів для фінансування. В цих умовах урядом вибрана дивна тактика фінансової політики щодо підтримки науково-технічної сфери – вибіркове і нерегулярне виділення коштів тільки на заробітну плату, та ще й у розмірах, які не забезпечують елементарних потреб науковців. Ясно, що ця практика створює ілюзію фінансування науки, а реально виконує функцію допомоги по безробіттю.

3. Сьогодні понад 90 % продукції, яка виробляється в Україні, не має сучасного науково-технічного забезпечення, що позначається на конкурентоспроможності і рентабельності більшості вітчизняних товарів. Фінансовий стан більшості виробництв не дозволяє їм впроваджувати нові технології, утримувати висококваліфікованих фахівців. За експертними оцінками через недовикористання сучасних досягнень науки і технології у виробництві Україна втрачає щорічно 10 млрд. доларів США. Досвід роботи технопарків, малих науково-впроваджувальних фірм, інших інноваційних підприємств свідчить про значні можливості нових інноваційних структур у вирішенні проблем впровадження.

4. Так, кількісні дослідження в галузі вимірювання ефективності наукових досліджень можливі і необхідні, але це складна глибоко фахова справа. І тут потрібно поквалитись з їх практичним впровадженням, особливо у нас, де поки що відсутня власна потужна система управління електронними ресурсами, котра б забезпечила формування національної наукової БД. Ось чому наукометрія на часі, вона потребує всебічної підтримки на всіх рівнях, без неї неможлива інтеграція у світовий інтелектуальний простір.

### Список літератури

1. *Шостак А. В.* Наукометрія і бібліометрія у Національному університеті біоресурсів і природокористування України / *А. В. Шостак* // BUSINESS PANORAMA (Ділова панорама). Міжнародний журнал Торгово-промислової палати: централізовано надсилається до регіональних палат України, посольств, консульств і представництв іноземних держав. – К., 2011. – №1(70). – С. 40–42. <http://www.kiev-chamber.org.ua/vyd2-ua>.
2. *Шостак А. В.* Рейтингове оцінювання як елемент системи моніторингу якості освіти в університеті / *А. В. Шостак* // Сучасна освіта. Всеукраїнський щомісячний журнал. – К., 2010. – №7 (70). <http://s-osvita.com.ua/content/view/522/116>.
3. *Шостак А. В.* Як підрахувати якість освіти / *А. В. Шостак* // Сучасна освіта. Всеукраїнський щомісячний журнал. – К., 2010. – №9(71). <http://s-osvita.com.ua/content/view/551/116>.
4. *Шостак А. В.* Дослідницький університет: як покращити індекс Хірша / *А. В. Шостак* // Сучасна освіта. Всеукраїнський щомісячний журнал. – К., 2010 – №12(74). <http://s-osvita.com.ua/content/view/610/116>.
5. *Шостак А. В.* Індекс Хірша і авторитет вченого / *А. В. Шостак* // "ОСВІТА": Всеукраїнський тижневик Міносвіти і науки України. – К., 2010. – №50(5433). [www.tyzhnevuk-osvita.net](http://www.tyzhnevuk-osvita.net).
6. *Шостак А. В.* Щодо інтелектуальної інформаційної системи оцінки ефективності наукових публікацій у дослідницькому університеті / *А. В. Шостак* // Інф. щомісячник «Пропозиція». – Укр. журнал з питань агробізнесу. – К., 2011. – №1. – додаток до журналу «Агрокомпас». – С. 6–8. <http://www.propozitsiya.com/?page=148&number=117>.
7. *Шостак А. В.* Рейтинг як потужна складова мотиваційного менеджменту // Наука та інновації в НУБіП України / *А. В. Шостак* // Збірник завершених наукових та інноваційних розробок. – К., 2010. № 1(7). С. 74. [http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u39/vch\\_nau\\_2010.pdf](http://nubip.edu.ua/sites/default/files/u39/vch_nau_2010.pdf).
8. *Шостак А. В.* Рейтинг как неотъемлемая составляющая европейских стандартов качества образования / *А. В. Шостак* // Наука и современность. – 2010: Сборник статей V-й Международной научно-практической конференции: в 3-х частях. Ч. 1 / Под общ ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 435 с. – ISBN №978-5-7782-1488-0. <http://www.zrns.ru>.
9. *Шостак А. В.* Як оцінити якість освіти у дослідницькому університеті / *А. В. Шостак* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 155, ч. 2. [http://www.nbu.gov.ua/portal/chem\\_biol/nvnu/index.html](http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnu/index.html).
10. *Шостак А. В.* Використання бібліометричних показників для оцінювання рівня наукових досліджень у дослідницькому університеті / *А. В. Шостак* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування Укра-

*Статья содержит убедительные аргументы о необходимости измерения качества и эффективности научных исследований. Рассмотрены возможности наукометрии, ее инструментарий. В современных условиях глобализации экономической жизни развитые страны, где наука выполняет роль главного экономико-воспроизводственного фактора, обеспечивают свое развитие за счет совершенствования существующих технологий, техники и использования принципиально новых научных достижений. Международный технологический и научный обмен, трансфер интеллектуального потенциала - один из признаков нашего времени. Понятно, что Украина станет процветающим государством только тогда, когда она сможет комплексно и эффективно освоить в своих интересах территории и ресурсы, которыми обладает. Но сделать это невозможно без тесного экономического и технологического сотрудничества с развитыми странами. Поэтому стратегической целью для Украины должно быть ее вхождение в международные научно-технические потоки, которые позволят модернизировать отечественное производство, обеспечить конкурентоспособность основных отраслей промышленности.*

**Наукометрия, международные базы данных, оценки качества образования, индекс Хирша, импакт-фактор, научные исследования, интеграция, информационное пространство.**

*This paper contains convincing arguments about the need to measure quality and efficiency of research. The possibilities scientometrics and its tools. In the current context of globalization of economic life developed countries where science serves as the main factor of economic reproduction, pursue their development through the improvement of existing technologies, techniques and use of innovative scientific achievements. International technological and scientific exchange, transfer of intellectual potential - one of the signs of our time. It is clear that Ukraine will become prosperous only when it can comprehensively and efficiently learn to take advantage of the territory and resources owned. But this is not possible without close economic and technological cooperation with developed countries. Therefore, the strategic goal for Ukraine to be its entry into the international scientific streams that will modernize domestic production, to ensure the competitiveness of basic industries.*

***Scientometrics, international database of education quality evaluation, Hirsch index, impact factor, research, integration, information space.***

УДК 631.316

## **КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКИ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ НА ПРУЖНІЙ ПІДВІСЦІ З ҐРУНТОМ**

***Д. Г. Войтюк, кандидат технічних наук,  
член-кореспондент НААН***

***Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, кандидати технічних наук***

*Запропоновано концепцію дослідження механіки та механізмів взаємодії робочих органів на пружній підвісці з ґрунтом.*

***Концепція, дослідження, механіка, механізми, взаємодія, пружна підвіска, ґрунт.***

**Постановка проблеми.** Відомо [1], що одним із шляхів підвищення якості роботи ґрунтообробних знарядь і зниження енергоємності обробітку ґрунту є створення конструкцій пружних механізмів, які встановлюються між робочим органом і рамою машини (пружні механізми - пружні підвіски). Такі механізми сприяють появі самозбуджуючих коливань робочих органів, що, в свою чергу, покращує очищення робочих органів від навислих рослинних залишків і ґрунту, а також знижує тяговий опір. Ефект самозбудження коливань може знайти широке застосування в багатьох технологічних процесах землеробської механіки. В даний час виробники ґрунтообробної техніки широко використовують цю ідею. Однак на сьогодні немає достатньо глибокого аналізу і методу розрахунку таких механізмів. Більшість конструкторів подібні механічні системи розглядають виключно як запобіжні пристрої, а не як джерело самозбудження періодичних нелінійних коливань.

**Метою досліджень** є розробка концепцію дослідження механіки та механізмів взаємодії робочих органів на пружній підвісці з ґрунтом.

**Аналіз останніх досліджень.** Пружні механізми використовуються зазвичай в трьох варіантах: 1) триланковий механізм з однією пружною ланкою; 2) п'ятиланковий з однією пружною ланкою; 3) пружна стійка або пружні елементи підвіски.

© Д. Г. Войтюк, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, 2015

Аналіз таких пружні механізмів показує [1], що, незважаючи на широкий спектр конструктивних рішень, всі вони мають нелінійну жорсткість (у літературі їх називають суттєво-нелінійними механічними системами [2]).

Дослідження характеристики жорсткості [3, 4] показали, що графіки силових характеристик всіх перерахованих вище систем мають нелінійний характер залежності нелінійної пружної сили  $F_q$  від узагальненої координати  $q$  ( $q \equiv x$  – для одновимірних задач) (рис. 1).

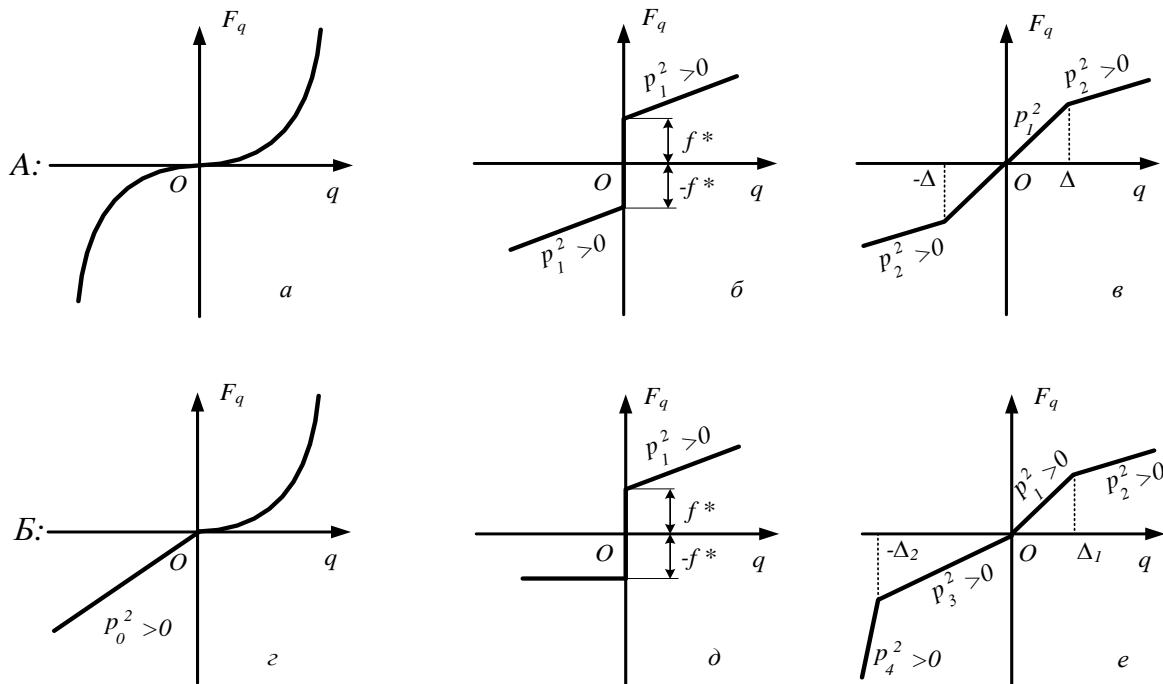


Рис. 1. Деякі варіанти нелінійної характеристики відновлюючої сили  $F_q = f(q)$ : А – симетричні – а) поліноміальна; б) кусочно-лінійна (з натягом); в) кусочно-лінійна пружна. Б – несиметрична – г) поліноміальна; д) з натягом; е) кусочно-лінійна пружна.

На рис. 1:  $\Delta_i$ ,  $i = \overline{(1, 2)}$  – зміщення (вправо і вліво від положення рівноваги);  $p_j^2$ ,  $j = \overline{(1, 4)}$  – жорсткість системи на  $j$ -й ділянці;  $\pm f^*$  – величина натягу;  $p_0^2$  – лінійна жорсткість.

Однак на цьому не закінчуються джерела нелінійності в постановці задач механіки взаємодії робочих органів на пружній підвісці з оброблюваним середовищем. Існують ще й наступні джерела нелінійності: 1) приєднана до робочого органу маса ґрунту (змінна в часі  $t$ ); 2) нелінійне тертя (в'язкість) середовища (рис. 2); 3) особливості конструкції самого навішування.

Всі ці причини вносять труднощі в постановку задач механіки та аналізу механізмів (фізичних) взаємодії робочих органів з пружною підвіскою з ґрунтом. Власні нелінійні коливання володіють ши-

роким спектром специфічних механічних явищ і ефектів, використання яких у технологічних процесах передбачає значну технологічну та енергетичну ефективності.

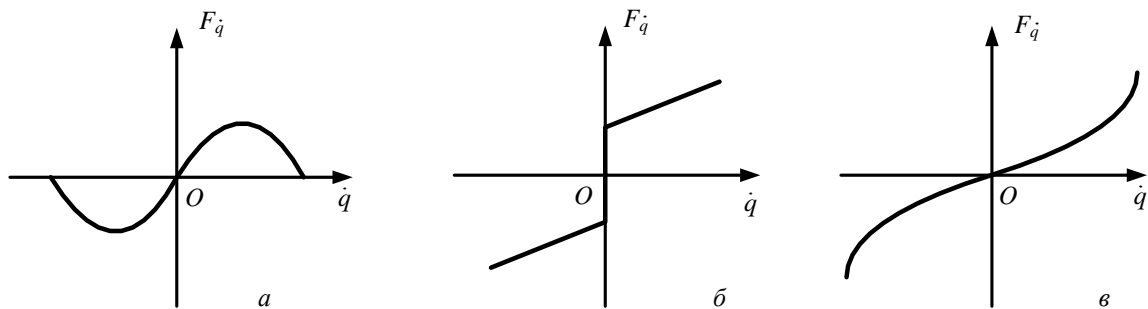


Рис. 2. Деякі варіанти нелінійної характеристики в'язкості (тертя) – дисипативної сили  $R(x, \dot{x})$  для випадку  $F_q = f(\dot{q}), \dot{q} \equiv \frac{dq}{dt}$ : а) типу синусоїдальної; б) кусочно-лінійна з натягом; в) поліноміального типу.

**Результати досліджень.** При вивченні коливальних процесів, що виникають у робочих органах на пружній підвісці, які взаємодіють з ґрунтом, можна поділити три основні групи сил, які визначають поведінку даної динамічної системи: 1) пружні відновлювальні; 2) дисипативні; 3) збурюючі сили. За такого підходу рівняння руху коливальної системи з одним ступенем вільності можна записати у вигляді:

$$m\ddot{x} + f(x) + R(x, \dot{x}) = H(t), \quad (1)$$

де:  $x$  – узагальнена координата (наприклад, лінійна чи кутова);  $m$  – маса або момент інерції;  $f(x)$  – пружна відновлююча сила (пружна характеристика);  $R(x, \dot{x})$  – дисипативна сила (дисипативна характеристика) (рис. 2);  $H(t)$  – періодична зовнішня дія (вимушена сила) періоду  $T$ .

Всі сили в рівнянні (1) є узагальненими сили. Якщо узагальнена координата є кутовою, тоді доданки в (1) є моментами.

У системі з нелінійною пружною характеристикою відновлювальної сили спостерігається складна динаміка. Залежно від початкових умов при одних і тих же параметрах системи (1) можливо кілька стійких різних періодичних режимів як з періодом змушує сили ( $T$ ), так і с кратними періодами. Саме ця багаторежимність і є основною властивістю нелінійних систем. Вона, як і інші прояви нелінійності, визначається, насамперед, видом пружною характеристикою  $f(x)$  в (1). У даній роботі розглядаються не квазілінійні системи [5], а суттєво-нелінійні [2] в тому сенсі, що нелінійна пружна характеристика відновлюючої сили може бути будь-якою кусочно-безперервною функцією змінної  $x$ . У нелінійній системі, в порівнянні з лінійною, разом з

розширенням кількості періодичних режимів можлива поява більшого числа резонансних частотних діапазонів, в яких розвиваються коливання з частотою вимушеної сили, а також з іншими більш високими або низькими частотами.

Відзначимо ще дві властивості систем з нелінійними пружними характеристиками: 1) можливість самозбудження періодичного режиму, період якого відмінний від періоду збурюючої сили  $H(t)$ , тобто від  $T$ , причому стійкий режим з періодом збурюючої сили може бути відсутнім; 2) поява за певних умов специфічної стохастичності в поведінці системи, незважаючи на детермінований характер вихідного рівняння (т. зв. динамічний хаос).

Отже, для нелінійних систем, на відміну від лінійних, характерні такі особливості: а) багаторежимність основних і субгармонічних режимів; б) додаткові резонансні частотні діапазони; в) самозбудження періодичних коливань; г) специфічні стохастичні коливання (динамічний хаос, при якому система стає некерованою ззовні).

Роль окремих сил в рівнянні (1) і початкових умов при формуванні періодичних режимів в системі, що розглядається з нелінійними відновлювальними силами розглянута нижче.

Спочатку перерахуємо основні фактори, що впливають на формування періодичних режимів: 1) внутрішні коливальні властивості; 2) зовнішні збурюючі сили; 3) сили непружного опору (дисипативні сили); 4) початкові умови.

*Внутрішні коливальні властивості.* Нелінійні ефекти в коливальних системах є проявом внутрішніх коливальних властивостей системи. Залежно від параметрів зовнішнього впливу і дисипативних сил внутрішні коливальні властивості, обумовлені пружними відновлюючими силами, можуть проявлятися сильніше або слабше, але основні особливості коливальних процесів в нелінійній системі (1) визначаються її основною частиною, тобто автономною недисипативної системою при її вільних коливаннях:

$$\ddot{x} + f(x) = 0. \quad (2)$$

Саме вільні коливання характеризують внутрішні коливальні властивості нелінійної системи, для якої період і спектральний склад вільних коливань залежать від початкових умов. Вільні нелінійні коливання є негармонічними, і внесок окремих гармонік при розкладанні вільних коливань в ряд Фур'є для різних пружних характеристик  $f(x)$  може суттєво відрізнятись.

Якщо тепер до основної системи (2) прикласти невелику періодичну збурюючу силу  $H(t)$  і невелику дисипативну силу  $R(x, \dot{x})$ , то в такій системі можуть спостерігатись один або декілька стійких періодичних режимів. Однак всі ці режими, як правило, виявляються близькими до відповідних вільних коливань основної системи.



В свою чергу, параметри вільних коливань системи (2) визначаються пружною або квазіпружною характеристикою  $f(x)$  відновлюючої сили. Відомо, що пружні характеристики  $f(x)$  при відповідному масштабі виражають залежність між відновлювальною силою і змінної  $x$ , а основною характеристикою вільних коливань є її амплітудно-частотна залежність, графічне зображення якої називають «скелетною кривою». На рис. 3 наведені три пружні характеристики  $f(x)$  та їх скелетні криві (суцільна лінія) відповідних систем з одним ступенем вільності. Для симетричних пружних характеристик  $f(x) = -f(-x)$ . Для несиметричних  $f(x)$  максимальне відхилення за вільних коливань, як правило, відрізняється, тому скелетна крива для максимальних зміщень  $a_1 (a_1 > 0)$  і  $a_2 (a_2 < 0)$  будується по обидва боки від осі абсцис. При невеликих періодичних збуджуючих силах амплітудно-частотні криві (амплітудно-частотні характеристики), відмічені пунктирними лініями на рис. 3, близькі до скелетних кривим, чим і пояснюється назва останніх.

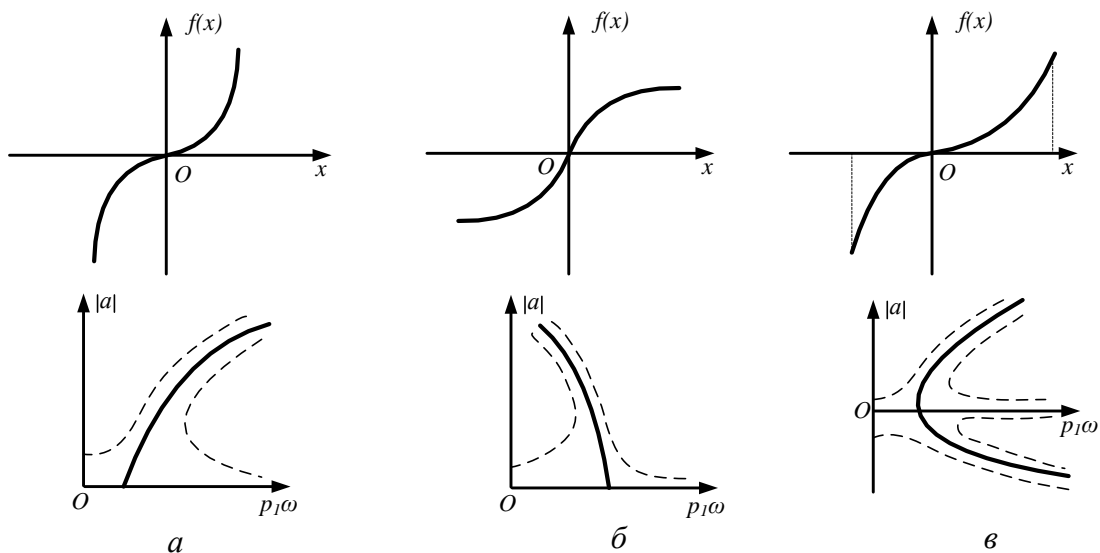


Рис. 3. Пружні характеристики  $f(x)$  і скелетні криві систем з одним ступенем вільності: а), б) симетричні  $f(x)$ ; в) несиметрична.

**Зовнішні збуджуючі сили.** Основна роль зовнішніх збуджуючих сил (періодичних або імпульсів) при формуванні періодичних режимів в нелінійних системах полягає в підтримці вільних коливань системи з періодом, рівним, кратним, дробовим періоду змушують сил.

Якісна поведінка нелінійних динамічних систем (тобто кількість і вид можливих періодичних режимів, що мають однакову основну частину (2) і перебувають під впливом різних імпульсних або безперервних зовнішніх сил  $H(t)$ , однакова, якщо різні види зовнішніх впливів мають однакові властивості симетрії, тобто належать до однієї з п'яти груп, наведених у [2]).

*Сили непружного опору (дисипативні сили).* Різні види дисипативних сил (рис. 2) в більшості розрахункових схем можуть вважатися істотно меншими, ніж пружні. При цьому їх якісний вплив на коливальний процес найчастіше однаковий. При малих силах непружного опору можливий їх кількісний облік на основі заміни еквівалентними лінеаризованими силами [6, 7]. У цьому випадку, коли дисипативні сили співвимірні з пружними, що пов'язане зі значним розсіюванням енергії в коливальній системі і, як правило, зі зростанням динамічних зусиль при стаціонарних режимах, характер цих сил має враховуватися більш повно. При цьому закони зміни координат системи можуть включати ділянки спокою (застою) та інші особливості, що залежать від виду дисипативних сил.

Роль дисипативних сил в формуванні періодичних коливань в нелінійних системах, як правило, полягає в тому, що вони в певній мірі «заглушають» появу внутрішніх коливальних властивостей системи. При зростанні дисипативних сил максимальні відхилення та динамічні навантаження в конструкціях можуть, як зменшуватися (у резонансних зонах), так і збільшуватися. Тому, коли постає питання про їх раціональний вибір, ці особливості повинні враховуватися.

У нерезонансних частотних діапазонах малі дисипативні сили не призводять до яких-небудь істотних кількісних змін в періодичних законах руху в порівнянні з законами руху в недисипативній системі. Малі дисипативні сили також, як правило, не зміщують резонансних частот. У зв'язку з цим при визначенні резонансних частотних діапазонів, так само як і при розрахунку коливань в нерезонансних зонах, ці сили можуть не враховуватися. Слід особливо зупинитися на впливі дисипативних сил на суб- і супергармонічні режими. Прийнято вважати, що невелика дисипація призводить до загибелі субгармонічних режимів. Однак це твердження є справедливим лише в тих випадках, коли субгармонічні режими мають малі області притягування і, отже, невеликий запас стійкості. Більшість субгармонічних режимів з великими областями притягування можливі при досить великій дисипації, а самозбуджуючі субгармонічні режими можуть існувати при досить більших дисипативних силах. У нелінійних системах дисипативні сили на супергармонічні режими впливають слабкіше, ніж на субгармонічні. Як правило, і при значній дисипації супергармонічний характер законів руху у відповідних резонансних зонах зберігається для систем як з одним, так і з декількома ступенями вільності.

*Початкові умови.* Внутрішні коливальні властивості і зовнішній вплив характеризують можливість прояву в нелінійних системах різних періодичних режимів. Який з цих режимів буде реалізований в дійсності, залежить від початкового стану системи. Для неавтономної системи з одним ступенем вільності початковий стан характери-

зується трьома числами  $x_0, \dot{x}_0$  і  $t_0$ , які називаються початковими значеннями. Початковий стан може бути задано також початковими умовами  $x(t_0) = x_0$  и  $\dot{x}(t_0) = \dot{x}_0$ .

У системи с  $n$  ступенями вільності початковий стан визначається  $(2n + 1)$  – початковими значеннями, в число яких входять  $n$  – початкових значень фазових координат  $x_{n0}$ ,  $n$  – початкових значень фазових швидкостей  $\dot{x}_{n0}$  і початкове значення часу  $t_0$ . Таким чином, початковий стан системи можна характеризувати в розширеному фазовому просторі  $(2n + 1)$  – мірним вектором  $X_0(x_{n0}, \dot{x}_{n0}, t_0)$ . Слід зазначити, що початкові значення тільки фазових координат і швидкостей не можуть однозначно визначити початковий стан системи, тобто при однакових значеннях  $x_0$  і  $\dot{x}_0$  і різних значеннях часу  $t_0$  можлива реалізація різних режимів. Початкове значення фазової координати  $t_0$  характеризує початкову фазу зовнішньої дії, і тому задання початкового значення  $t_0$  є суттєвим.

### Висновки

У системі з нелінійною пружною характеристикою відновлювальної сили спостерігається складна динаміка. Залежно від початкових умов при одних і тих же параметрах системи (1) можливо кілька стійких різних періодичних режимів як з періодом змушує сили ( $T$ ), так і с кратними періодами. Саме ця багаторежимність і є основною властивістю нелінійних систем. Вона, як і інші прояви нелінійності, визначається, насамперед, видом пружною характеристики  $f(x)$ .

У нелінійної системі, в порівнянні з лінійною, разом з розширенням кількості періодичних режимів можлива поява більшого числа резонансних частотних діапазонів, в яких розвиваються коливання з частотою вимушеної сили, а також з іншими більш високими або низькими частотами.

Для нелінійних систем, на відміну від лінійних, характерні такі особливості: а) багаторежимність основних і субгармонічних режимів; б) додаткові резонансні частотні діапазони; в) самозбудження періодичних коливань; г) специфічні стохастичні коливання (динамічний хаос, при якому система стає некерованою ззовні).

Результати роботи можуть бути використані для уточнення і удосконалення існуючих методів інженерних розрахунків коливних механічних систем.

### Список літератури

1. Кушнарєв А. Механика взаимодействия рабочих органов на упругой подвеске с почвой / А. Кушнарєв, И. Шевченко, В. Дюжаєв, С. Кушнарєв // Техника АПК. – 2008. – №8. – С. 22–\$25.
2. Закржевский М. В. Колебания существенно-нелинейных механических систем / М. В. Закржевский. – Рига: Зинатне, 1980. – 190 с.

3. Шевченко И. А. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров рабочих органов с упругими стойками культиваторов для предпосевной обработки почвы: Дис.... канд. техн. наук. – М., 1988. – 176 с.
4. Кушнарєв С. А. Обоснование энергосберегающих технологических процессов обработки почвы и параметров упругих рабочих органов для условий южной степной зоны Украины: Дис.... канд. техн. наук. – Глеваха, 1998. – 194 с.
5. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов. – М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.
6. Вульфсон И. И. Нелинейные задачи динамики машин / И. И. Вульфсон, М. З. Козловский. – Л.: Машиностроение, 1968. – 382 с.
7. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1967. – 316 с.

*Предложена концепция исследования механики и механизмов взаимодействия рабочих органов на упругой подвеске с почвой.*

***Концепция, исследования, механика, механизмы, взаимодействие, упругая подвеска, почва.***

*In paper was proposed the concept of study the mechanics and mechanisms of interaction of vibrational tillage tools with the soil.*

***Concept, research, mechanical, mechanisms, interaction, elastic suspension, soil.***

УДК 631.311:621.891

## **СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗМІЦНЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН В УКРАЇНІ**

***В. Д. Войтюк, доктор технічних наук  
М. І. Денисенко, кандидат технічних наук  
А. С. Опальчук, доктор технічних наук***

*В статті дано аналітичний огляд існуючих методів зміцнення і відновлення робочих органів сільськогосподарських машин, наведені дані про типи зносу деталей і вузлів; запропоновано пропозиції виробництву.*

***Робочі органи ґрунтообробних машин, абразивне зношування, диск борони лапа культиватора, леміш плугу.***

**Постановка проблеми.** Техніко-економічні показники багатьох сільськогосподарських машин все ще залишаються дуже низькими із-за малих термінів служби їх робочих органів та вимушених простоїв

© В. Д. Войтюк, М. І. Денисенко, А. С. Опальчук, 2015

при періодичних замінах останніх, що вимагає значних витрат коштів на ремонт і запасні частини. В першу чергу це стосується ґрунтообробних знарядь, робочі органи яких працюють у важких польових умовах при значних навантаженнях, ударах, вібраціях, перекосах. Швидке спрацювання лез лемешів, лап культиваторів і дисків борін призводить до зниження продуктивності агрегатів та якості виконуваних робіт і, зрештою, до зростання собівартості сільськогосподарської продукції. У південних посушливих районах України лапи культиваторів і лемеші плугів доводиться ремонтувати або замінювати щозміни. При цьому на піщаному ґрунті деталі зношуються у 8-10 разів швидше, ніж на глиняній. Леміш плугу являється одним з найбільш швидкозношуваних робочих органів. Основна причина – прискорене абразивне зношування, обумовлене взаємодією з твердими (HV 8-11 ГПа) мінеральними частинками, які містяться в ґрунті. В теперішній час для основної обробки ґрунту – оранки використовуються деталі робочих органів, конструкційні параметри яких були розроблені 40...50 років назад. Враховуючи, що на сьогодні значно зросла маса збиральних машин, а це призвело до підвищення щільності ґрунтів, навантаження на робочі органи орних агрегатів зросли приблизно в 4 рази, хоча самі робочі органи не змінилися ні конструктивно, ні в матеріалознавчому напрямку.

Багаточисленні випробування серійних робочих органів лемішних плугів показують, що середній наробіток на відмову долотоподібних лемешів П-702 в залежності від видів ґрунтів та їх фізичного стану коливається від 5 до 20 га, грудин полиць – від 10 до 100 га, крил полиць – від 40 до 270 га, польових дощок – від 20 до 60 га [1]. Обмежений ресурс мають робочі органи і інших ґрунтообробних машин: диски луцильників і дискових борін – 8...20 га, лапи культиваторів – 7...18 га. Все це свідчить про те, що довговічність робочих органів ґрунтообробних машин не достатня. Тому дослідження направлені на підвищення їх ресурсу є актуальними і мають важливе державне значення.

**Аналіз останніх досліджень.** Великий внесок у вивчення питання зношування робочих органів машин і розробки заходів по підвищенню їх робото здатності і довговічності внесли закордонні і вітчизняні вчені: Тененбаум М. М., Хрущов М. М., Севернєв М. М., Рабінович А. Ш., Крагельський І. В., Костецький Б. І., Ткачов В. Н., Бернштейн Д. Б., Лоренц В. Ф., Львов П. Н., Кушнарєв А. С., Бойко А. І. і багато інших. Диференційний підбір матеріалів і розробка конструкцій робочих органів підвищеної довговічності вимагають детальної класифікації ґрунтів за їх зношувальною здатністю. Основними елементами зношування є тверді (HV 7...11 ГПа) мінеральні частинки кварцу і граніту, які складають приблизно 36,6...70,8 % ґрунту. Потім

за ступенем розповсюдження йдуть польовий шпат, слюда та інші матеріали (HV 6...7,2 ГПа). Більша кількість частинок мають округлу форму, але також присутні і частинки, що мають гострі грані і виступи, здатні деформувати і зношувати контактні поверхні деталей робочих органів.

При наїзді корпусу плуга на перешкоди у вигляді каміння, ущільнень ґрунту і твердих ділянок навантаження на леміш зростає «товчками»: за 0,04-0,1 секунд у 10 і більше разів у порівнянні з її середнім значенням за нормальної оранки [2]. Це велика небезпека для міцності всіх складових елементів плугу, і в першу чергу – лемеша. Методи підвищення довговічності деталей робочих органів можливо розділити на наступні групи: 1) зміна хімічного складу і властивостей матеріалу; 2) термічна обробка; 3) поверхневе хіміко-термічне зміцнення; 4) наплавлення твердими сплавами; 5) використання металокерамічних порошкових матеріалів [2, 3]. В літературних джерелах немає достатнього обґрунтування вибору вказаних матеріалів. Очевидно, головним критерієм їх використання є межа міцності в небезпечному перерізі. В опублікованих роботах значну увагу приділено покращенню термічної обробки лемешів і подібних робочих органів. За даними І. Н. Єрмакова [4] зносостійкість чавунних лемешів на 10-30 % більше, ніж сталевих. Промислового використання в нашій країні не знайшли, хоча у Великобританії для обробки легких ґрунтів використовуються чавунні лемеші з вибіленою нижньою стороною вже більше 150 років. Широке використання технології відновлення і зміцнення лемешів плугів керамічними матеріалами утримується високою вартістю виготовлення кераміки і відсутністю технології кріплення кераміки до лемеша, що забезпечує необхідне зчеплення керамічної пластини з лемешем. Існуючі методи і матеріали для відновлення і зміцнення (заморожування, детонаційне напилювання, плазмове дугове наплавлення) не задовольняють вимогам до експлуатаційних і фізико-механічних властивостей деталей робочих органів (міцність зчеплення покриття з основою, зносостійкість, твердість, ударна в'язкість та ін.).

Аналіз сучасних уявлень про види зношування показує, що робочі органи сільськогосподарських машин зазнають наступних видів руйнування: абразивного – в результаті ріжучого або дряпаючого впливу твердих тіл і частинок; втоми – в результаті втомного руйнування при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару при терті ковзання або кочення; окислювального – в результаті хімічної реакції матеріалу з киснем або зовнішнім середовищем і мікропластичною деформацією поверхневого шару.

На рис. 1 і рис. 2 показано розміри підготовки леза лемеша і лапи культиватора під наплавлення. Підготовка ділянок під наплав-

лення в деталях типу дисків борін полягає у виправленні геометричної форми леза способом загострювання їх до товщини 0,5...0,7 мм під кутом 33 на токарно-гвинторізному верстаті (рис. 3) або обдирно-загострювальних верстатах. При електродуговому ручному наплавленні насипаний шар шихти на підготовлене лезо розплавляють електричною дугою довжиною 3...4 мм змінним або постійним струмом (пряма полярність) 200...250 А графітним (вугільним електродом). Лемеші зміцнюють з носка: рух електрода (діаметр 12...15 мм) повинен бути зигзагоподібним (рис. 4).

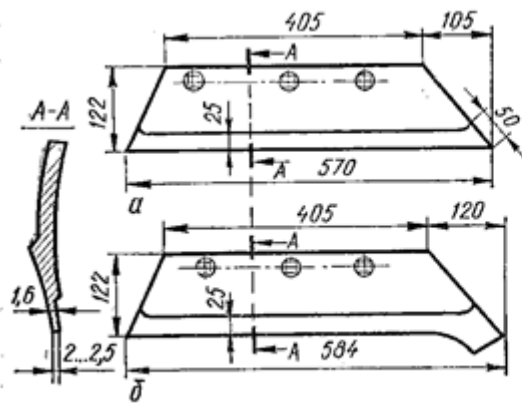


Рис. 1. Підготовка лемеша до наплавлення: а – з прямим лезом; б – з долотоподібним лезом.

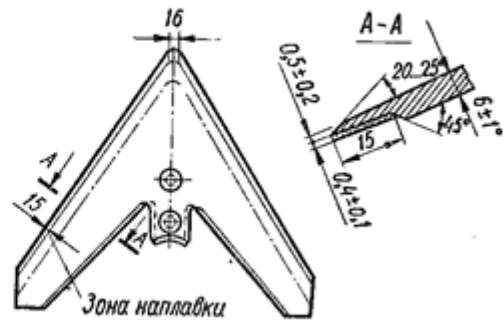


Рис. 2. Підготовка лап культиватора до наплавлення.

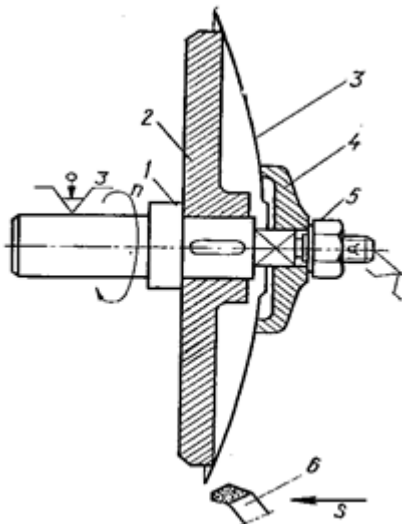


Рис. 3. Схема загострювання диску на токарно-гвинторізному верстаті: 1 – оправка; 2 – планшайба; 3 – диск; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – різець.

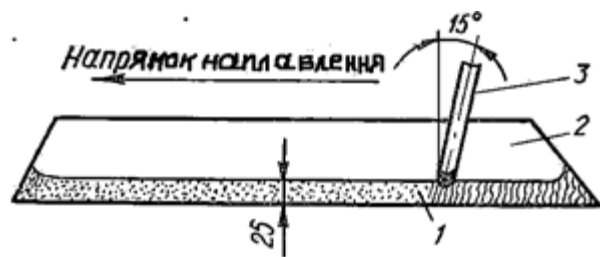


Рис. 4. Схема електродугового наплавлення леза лемеша порошкоподібним твердим сплавом: 1 – шихта; 2 – леміш; 3 – графітний електрод.

Індукційний спосіб наплавлення більш продуктивніший, ніж ручна газова і електродугова наплавка. Нагрівання шихти і лева здійснюється струмами високої частоти від 500 до 100000 Гц. Швидкість нагрівання при вказаному інтервалі частоти дорівнює 1,5...6 хвилин. Глибина нагрівання досягає 5 мм (рис. 5: 1 – охолоджуюча рідина; 2 – деталь, яку зміцнюють; 3 – шихта; 4 – індуктор одновитковий.). Сутність плазмового наплавлення лез деталей ґрунтообробних машин полягає в тому, що в струю дугової плазми вдувається порошкоподібний твердий сплав (ФБХ-6-2 марки «Сормайт-1»), котрий в неї плавиться, і у вигляді розплаву поступає на несучу поверхню лева (рис. 6: 1 – леміш; 2 – наплавлений твердий сплав; 3 – захисний гас (азот); 4 – робоча дуга; 5 – додаткова дуга; 6 – порошкоподібний твердий сплав; 7 – вода; 8 – канал для охолоджувальної води; 9 – плазмо утворювальний гас; 10 – вольфрамовий електрод; 11 – джерело струму.).

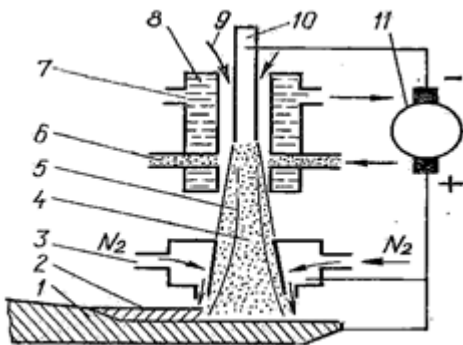


Рис. 5. Схема індукційного наплавлення порошкоподібним твердим сплавом.

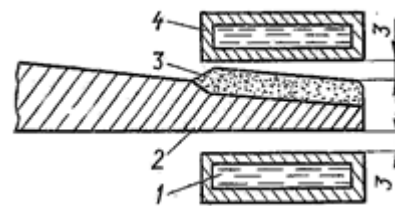


Рис. 6. Схема плазмового наплавлення.

Режими плазмового наплавлення: сила струму робочої і допоміжної дуги відповідно 180 і 80 А; напруга робочої, допоміжної і холодної дуги відповідно 60, 25 і 100 В; витрати плазмо утворюючого газу (аргон), транспортуючого (азот) і захисного (азот) відповідно 3, 6 і 10 л/хв.; швидкість наплавлення 0,002...0,003 м/с (150...180 мм/хв.); витрати порошку 3...5 кг/год. Спосіб нарощування розплавом твердих сплавів полягає в тому, що поверхня лева, яка підлягає зміцненню, змочується порошкоподібним флюсом АН-348А, та вводиться в індуктор височастотної установки для розплавлення флюсу і нагрівання лева. Час витримки лева у розплаві 2...3 сек. (рис. 7), при нарощуванні відсутнє перемішування розплаву з більш м'яким несучим шаром лева. Схема процесу магнітоелектричного зміцнення полягає в електроіскровому нанесенні феромагнітних порошків (феробор, ферохром, феротитан і інші) або порошкових композицій у магнітному полі (рис. 8).



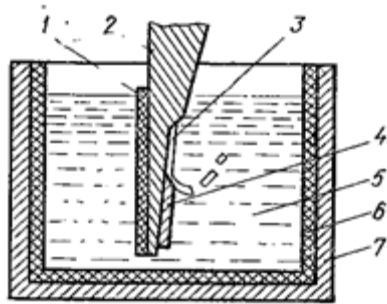


Рис. 7. Схема нарощування леза розплавом твердого сплаву: 1 – ізоляція; 2 – лезо; 3 – розплавлений флюс; 4 – нарощуваний шар; 5 – розплав твердого сплаву; 6 – вогнестійка ізоляція ванни; 7 – ванна.

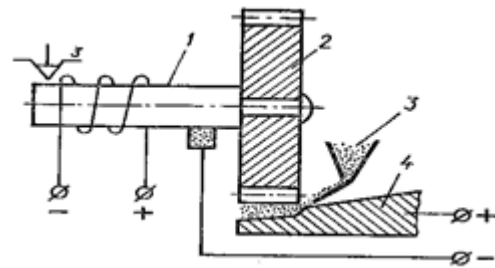


Рис. 8. Схема процесу магнітоелектричного зміцнення: 1 – електромагнітна голівка; 2 – інструмент; 3 – феропорошок; 4 – леміш.

Режими зміцнення електроіскрового способу: розрядний струм – 100...120 А; напруга – 24...36 В; магнітна індукція – 0,3...0,8 Тс; величина робочого зазору – 2,5...3,5 мм; розміри гранул – 0,2...0,6 мм. Продуктивність процесу – 60-70 см<sup>2</sup>/хв, при швидкості подавання порошку 10...15 г/хв. Товщина покриття досягає 0,5...1,5 мм.

**Метою досліджень** є дослідження закономірностей зміни стану і зносостійкості конструкційних матеріалів та зносостійких покриттів в умовах абразивного зношування на прикладі робочих органів ґрунтообробних машин.

**Результати досліджень.** Дугове точкове зварювання (ДТЗ), яке застосовується для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, засновано на мікроточковому наплавленні твердого сплаву в структуру поверхонь деталей, що зазнають абразивного зношування [5, 6]. Процес здійснюється за технологією, розробленою сумісно з вченими Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України. Точки зміцнення утворюються при швидкому введенні в метал деталі такої кількості тепла, яке необхідно для проплавлення конусного кратера, заповнення його розплавом з основного металу і твердого сплаву та утворення точки зміцнення. Широка чашоподібна геометрія конусного кратера сприяє швидкому відведенню теплоти із наплавлувальної ванни в основний метал і зовнішнє середовище, тому точки охолоджуються з великою швидкістю і за короткий час. Стійкість ДТЗ і основні параметри точки зміцнення – форма, глибина  $h_2$  проплавлення, висота  $h_1$  і діаметр  $D_n$  наплавлення залежать від зварного струму  $I_{с.в.}$ , напруги  $U_d$  дуги діаметра  $d_e$  і швидкості  $v_n$  подачі дроту, режимів ДТЗ, а також від марки і виду термообробки металу, товщина  $H$  деталі зміцнення і полярності струму (рис. 9).

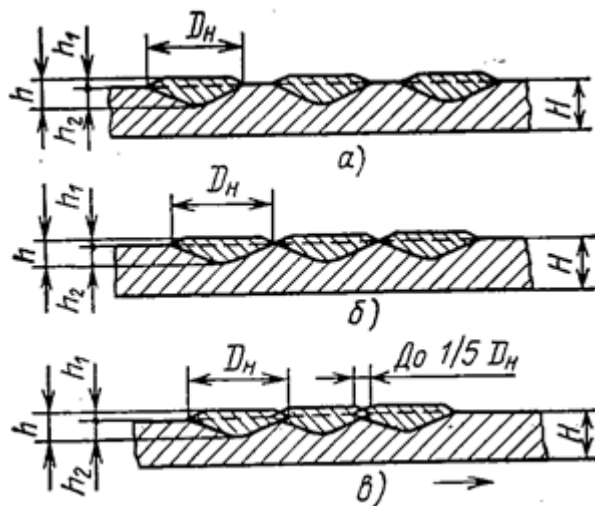


Рис. 9. Параметри точок зміцнення: а – локальних; б – сумісних; в – спряжених.

Пряма полярність струму знижує стійкість дугового процесу, призводить до утворення бризок, зменшує глибину проплавлення і збільшує висоту голівки точки зміцнення. Тому режими ДТЗ дугового точкового зварювання відпрацьовували на зворотній полярності. Глибина проплавлення повинна забезпечити надійність нероз'ємного з'єднання точки зміцнення з основним металом при його стиранні і оголенні твердого сплаву до моменту, коли буде отримано критерій вибраковування робочого органу по зносу.

Необхідна глибина  $h_2$  проплавлення, як і інші параметри точкового зміцнення ( $D_n$ ,  $h_1$ ), досягається регулюванням сили зварного струму, напруг і часу горіння дуги. Зварний струм чинить найбільший вплив на формування точки зміцнення: його збільшення визиває зростання глибини  $h_2$  проплавлення і діаметра  $D_n$  голівки точки, а також зменшення висоти  $h_1$  наплавлення. Так, зі збільшенням зварного струму з 400 до 650 А діаметр  $D_n$  зростає з 14,5 до 31 мм,  $h_2$  – з 2,3 до 4,3 мм, а висота  $h_1$  наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм.

Оптимальну висоту точки зміцнення (висота голівки) обираємо в залежності від функціонального призначення робочого органу сільськогосподарської машини. Вона повинна забезпечувати захист основного метала від абразивного зношування. Висота точки зміцнення повинна бути такою, щоб надійно захищати спрацьовану поверхню, не створюючи значного опору пересуванню робочого органу в ґрунті. На плужному лемеші, наприклад, висота наплавлення по лезу не повинна перевищувати 2 мм, а на ножах виноградникових машин – 0,5 мм, інакше зростає тяговий опір, відбувається залипання ґрунту і не виконуються агротехнічні вимоги по підрізуванню бур'янів [7, 8]. Діаметр голівки точок зміцнення у відповідності з вибраним варіантом їх розташування, який визначається характером

зношування робочого органу, можна визначати за висотою  $h_1$  голівки і глибині  $h_2$  проплавлення, що задається з врахуванням товщини деталі і агротехнічних вимог, діаметру  $d_e$  і довжині  $l$  порошкового дроту, яка використовується на утворення точки зміцнення. Досліди показують, що при ДТЗ необхідно враховувати кількість як основного металу, так і порошкового дроту, що формують точку зміцнення за допомогою відповідно коефіцієнтів  $k_m$  і  $k_n$ , які відображають відношення основного і твердосплавних металів в загальному об'ємі наплавленої точки. Це дозволяє проплавляти лезо на всю товщину, що дуже важливо для самозагострювання лемешів, так як у процесі зношування збільшується перепад твердості між наплавленими і не наплавленими ділянками і при експлуатації в результаті самозагострювання третього роду утворюється хвилясто-ступінчасте лезо (рис. 10).

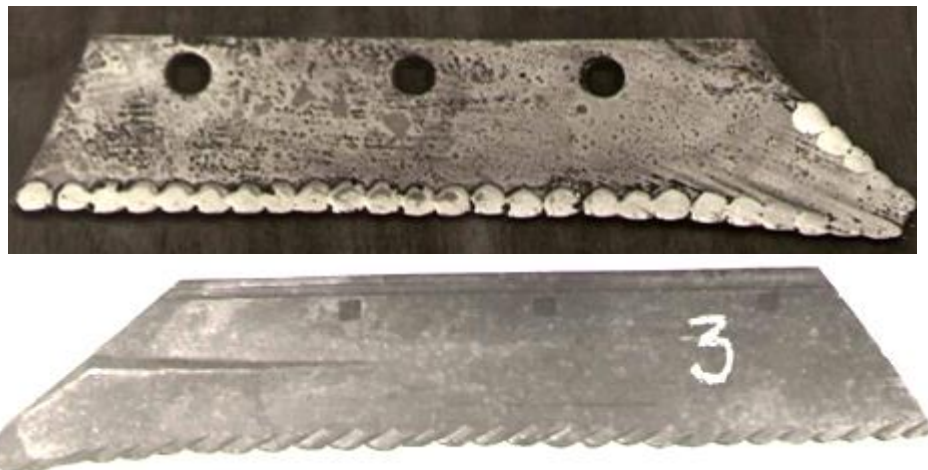


Рис. 10. Леміш плуга після наробітку 49,0 га.

Технологічні параметри точкового зміцнення і режими ДТЗ відпрацьовані і уніфіковані для наступних робочих органів ґрунтообробних машин, що піддаються зміцненню (табл. 1): лемешів плугів і плоскорізів із сталі Л53, польових дощок, боковин, долот культиваторів із сталі 45, розпушувальних лап і ножів культиваторів, долот і наральників плугів розпушувачів із сталі 65Г, грудин полиць із полиць з тришарової сталі.

Для наплавлення точок зміцнення використовували твердосплавний порошковий самозахисний дріт (ПП-АН 170) ПП-Нп-80Х20Р3Т-Н-С-3,2 (ГОСТ 26101-84), який забезпечує твердість поверхні леза 60-65 HRC<sub>e</sub>. Перед наплавленням порошковий дріт для видалення вологи просушують при температурі 200-250°C протягом 40 хв, а деталі зачищають від корозії, оливи і забруднень. Наявність нормального шару окалини після просушки не впливає на якість точки зміцнення.

### 1. Режими наплавлення точок зміцнення.

Найменування деталі	Підпал дуги	Проплавлення	Формування голівки	$I_{св}, A$	$U_{д}, B$	$t, c$	Виліт електрода, мм
	$t_{1,2,3}$	$V_{п1,2,3}$	мм/с				
Боковини:							
ПЛЖ 51.200У	0,5/17	2,1/96	0,4/21	620-	38-	3	27
ПГЦ 61.200У				660	43		
ПЛЄ 21.500У							
Грудина по-лиці ПЛЄ 21.401У	0,5/17	1,6/44	0,4/21	650-700	42-45	2,5	27
Леміш ПНЧС 702У:	0,4/17	1,9/69	0,4/21	510-	32-	2,7	23
носок	0,4/17	1,2/15,5	0,4/21	560	36	2	25
лезо	0,4/17	1,6/44	0,4/21	570-	35-	2,5	27
Ніж КФХ 06.070У	0,5/17	2,1/96	0,4/18	620	39		
	0,4/17	1,9/69	0,4/18	650-700	42-45	3	27
						2,7	23
Лапи:				620-	38-		
КФХ 00.070У				640	40		
8,5 (ГОСТ 1343-82)				510-	32-		
				560	36		

Точкове зміцнення на деталях здійснюємо в горизонтальному або близькому до нього положеннях. Стійкість збудження дуги і продуктивність наплавлення визначають режими ДТЗ. Відносно стабільне збудження дуги забезпечується при щільності струму не менше  $150 A/mm^2$ . При однакової щільності струму більш високої напруги холостого хода джерела живлення створює більш сприятливі умови для збудження і горіння дуги. Досліди показують, що якщо між закінченням наплавлення точки і подальшим збудженням дуги проходять не більше 5-7 с, кінець електрода не встигає остигнути і подальше запалення відбувається без труднощів. Велике значення для підпалу дуги має початкова швидкість подачі порошкового дроту: при  $v_{п1} > 80$  м/год. повторне збудження дуги відбувається 1-2 рази на 100 точок зміцнення, при  $v_{п1} > 100$  м/год. значно рідше. Встановлено, що оптимальна швидкість  $v_{п1}$  знаходиться у межах 30-70 м/год.

Наплавлення рекомендується проводити при максимальній щільності струму. Середня потужність ДТЗ при ККД джерела живлення, що дорівнює 85%, складає від 15 до 40 кВт [9, 10].

Дефектами точок зміцнення можуть бути пори в наплавленому шарі, нерівномірність голівки, пропалювання деталі, не провар, які легко виявляються при зовнішньому огляді. У наплавлених точках допускаються окремі тріщини без виходу в основний метал деталі. Наявність бризок від ДТЗ на поверхні деталей не впливає на її функціональні властивості.

Непряма ознака не провару – занижений і нестабільний діаметр точки. Для попередження явища необхідно контролювати струм і напругу. Ознакою хорошої якості наплавлення слугують кольори наплавлення зі зворотної сторони деталі.

Такі дефекти, як низька голівка точки і одиничні пори, практично не впливають на зносостійкість робочих органів. Недопустимими є дефекти, що знижують міцність деталі (пропалювання і тріщина по основному металу) і зносостійкість (непровар).

Ґрунтообробні машини з робочими органами, зміцненими ДТЗ, пройшли польові випробування в 1983-1990 рр. і 2004-2014 рр. у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Точкове зміцнення в порівнянні з індукційним наплавленням підвищує зносостійкість робочих органів у 1,5-3 рази, при цьому витрати на їх виготовлення знижуються за рахунок значного зменшення витрат електроенергії (в 5 разів і більше), в 4-5 разів підвищується продуктивність праці, значно скорочуються виробничі площі. Точки наплавлення виступають над поверхнею лицевої сторони деталі на величину 1...3 мм та проникають в основний метал на глибину 4...6 мм, утворюючи на поверхні лицевої сторони деталі твердосплавну точку діаметром 18...25 мм і твердістю HRC 60...66 (рис. 10, рис. 11).



Рис. 11. Геометричні параметри точок зміцнення.

Пряма полярність струму знижує стійкість технологічного процесу, призводить до утворення бризок, зменшує глибину проплавлення і збільшує висоту точки зміцнення. Тому параметри точкового зміцнення відпрацювали на оберненій полярності. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення. Наприклад, зі збільшенням зварного струму від 400 до 650 А, діаметр точки зміцнення зростає з 14,5 до 31 мм, висота з 2,3 до 4,3 мм, а висота наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм [6]. Необхідна глибина проплавлення, як і інші параметри точкового зміцнення досяга-

ється зміною сили зварного струму, напруги і тривалості горіння дуги. Оранка здійснювалася на глибині 25...27 см після збирання зернових культур. В процесі проведення випробувань регулярно здійснювали вимірювання параметрів робочих органів, визначали величину їх зносу. Всі робочі органи пройшли первинну технічну експертизу, промарковані. Показники умов і якості роботи визначали відповідно ГОСТ 20915-75 і ОСТ.4.1-80.

Експериментальні лемеші з точковим зміцненням леза і носової частини встановлювалися на серійному плузі ПЛН-5-35, що агрегувався з трактором Т-150К. З показників якості роботи експериментальні лемеші по глибині обробки і ширині захвату відповідають технічним умовам. В процесі випробувань експериментальних лемешів налипання ґрунту не спостерігалось. Експериментальні лемеші з точковим зміцненням підвищеної зносостійкості (ПНЧС-702У) відповідають вимогам по обробці ґрунту.

Питомий опір ПЛН-5-35 з експериментальними лемешами при швидкості руху 2,08 м/с складає 6,27 Н/см<sup>2</sup>, що на 2,5% менше (в межах похибки вимірювань), ніж ПЛН-5-35 з серійними лемешами. Так як різниця питомих показників знаходиться в межах похибки вимірювань, значення питомих показників агрегатів, що порівнюються, можна вважати однаковими. По тяговим показникам потужності трактор Т-150К в агрегаті з ПЛН-5-35 з експериментальними лемешами забезпечує стійке виконання технологічного процесу, завантаження двигуна при русі зі швидкістю 2,08 м/с склала 94,6%.

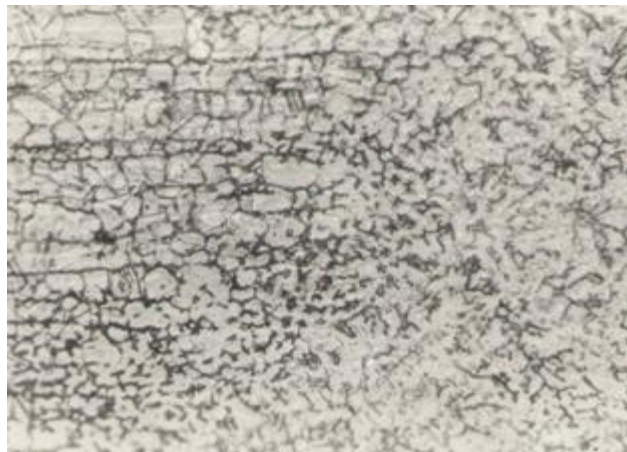


Рис. 12. Мікроструктура точки зміцнення лемеша, x250.

Висока зносостійкість експериментальних лемешів в умовах абразивного зношування передбачає наявність в структурі наплавленого шару карбідів тугоплавких металів. Утворення карбідної фази, в основному, можливо двома шляхами: за рахунок роздільного легування карбідоутворюючими елементами і вуглецем наплавленого сплаву або за рахунок комплексного легування, коли в покриття

вводяться готові карбідні з'єднання. Другий спосіб дозволяє значно спростити регулювання структури наплавленого металу. Мікроструктура точки зміцнення, це карбіди бору  $B_4C$  (рис. 12), бор знаходиться в складі шихти, в чистому вигляді. При точковому зміцненні, спостерігаємо (рис. 13), що боріди розподілені по границя зерен, з відсутністю загартованих структур і тріщин. При використанні таких матеріалів експлуатаційне навантаження діє в основному на включення твердої пружно-пластичної матриці та відбувається релаксація напружень.

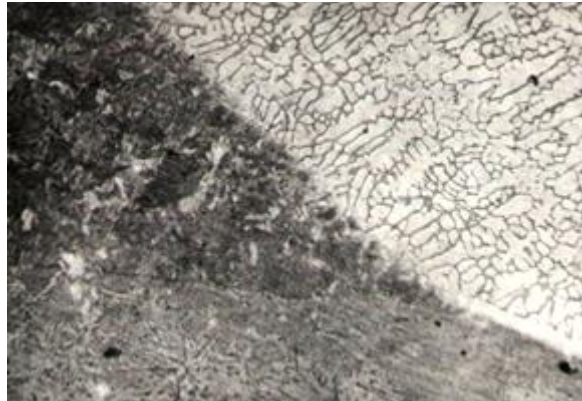


Рис. 13. Лінія сплавлення з верхнім і середнім шаром лемеша, х 250.

### **Висновки**

1. Дугове точкове зварювання самозахисними порошковими дротами ПП-АН170 (ПП-АН170М) дозволяє створити технологію, яка забезпечує збільшення довговічності лемеша плугу (лапи культиватора) в 1,5-3 рази в порівнянні з індукційним наплавленням при оранці на ґрунтах з різним гранулометричним складом і інтенсивністю зношування.

2. Особливі переваги дугового точкового зварювання самозахисними порошковими дротами ПП-АН170 (ПП-АН-170М) це можливість використання даного методу безпосередньо на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема в приватних фермерських господарствах і ремонтних майстернях на відміну від індукційного наплавлення в заводських умовах.

3. Дугове точкове зварювання самозахисними порошковими дротами дає змогу здійснювати зміцнення і відновлення поверхонь лез робочих органів сільськогосподарських машин у польових умовах, оскільки вітер практично не чинить впливу на процеси наплавлення. Простота введення легуючих елементів в наплавлений шар, склад якого можливо регулювати в широких межах.

4. Виробничі випробування підтвердили, що при зношуванні лемеша відбувається його самозагострювання за рахунок різниці твердості дільниць підкладки (основного металу) і поверхні леза робочого органу.

## Список літератури

1. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. на соис. ученой степени докт. техн. наук: спец. 05.20.03 – технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / В. С. Новиков. – М., 2008. – 43 с.
2. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность / Под ред. П. М. Волкова и М. М. Тененбаума. – М.: Машиностроение, 1977. – 260 с.
3. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Киселев Г. И. Абразивный износ металла при различных температурах и скоростях / Г. И. Киселев. – М.: ДАН СССР, 1952. – Т. XXXVII. – №5. – С. 124–132.
5. Розенбаум А. Н. Изнашивание лезвий в почвенной среде / А. Н. Розенбаум. – М.: Машгиз, 1960. – С. 146–152.
6. Клюенко В. Н. Универсальные самозатачивающиеся плужные лемеха повышенной износостойкости / В. Н. Клюенко. – М.: Тракторы и сельхозмашины, 1986. – С. 18.
7. Ермаков И. Н. Самозатачивающиеся чугунные лемеха / И. Н. Ермаков. – М.: Машгиз, 1956. – С. 123.
8. Денисенко М. І. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / М. І. Денисенко, А. С. Опальчук // Науковий журнал. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2011. – С. 201–210.
9. Денисенко М. І. Зміцнення та відновлення деталей автотракторної техніки і сільськогосподарських машин шляхом використання захисних зносостійких покриттів / М. І. Денисенко, В. Д. Войтюк, В. І. Рубльов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2010. – Вип. 101. – С. 93–103.
10. Терещенко В. И. Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом / В. И. Терещенко, А. Н. Шаровольский, К. А. Сидоренко // Автоматическая сварка. – 1983. – №9. – С. 51–53.
11. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М.: Машгиз, 1962. – 304 с.

*В статье дан аналитический обзор существующих методов упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин, рассмотрены данные типовых износах деталей и узлов машин. Показано, что наиболее эффективным методом упрочнения рабочих поверхностей деталей почвообрабатывающих машин является точечное упрочнение – дуговая точечная сварка порошковой проволокой (плавящимся электродом).*

***Режущие элементы, износостойкость, абразивное изнашивание, точечное упрочнение, лемех плуга.***

*In paper present introduce the present method hardening working tool cultivation machine them advantage and defect Demonstrate what the greatest effective method hardening force surface part cultivation*



*machine have-point hardening point consumable-electrode are welding flux cored electrode.*

***Cutting elements, wear resistance, abrasive wear, point hardening, blade share.***

УДК 631.3:62-231.3

## **КІНЕМАТИЧНИЙ АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

***Я. М. Михайлович, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України***

***А. М. Рубець, кандидат технічних наук  
Білоцерківський національний аграрний університет***

*Наведено основні параметри руху точок, що лежать на опорній поверхні гайки як тих, що визначають працездатність з'єднання. Виконання запропонованих дій під час проектування, виготовлення та використання різьбових з'єднань дозволить подовжити термін їх служби.*

***Різьбове з'єднання, техніка, кінематика.***

**Постановка проблеми.** Сучасна сільськогосподарська техніка не можлива без використання різьбових з'єднань, загальна вартість яких складає близько 1 % вартості одиниці техніки, а вартість з'єднаних ними деталей – понад 90 %. Тому питання забезпечення надійності і довговічності різьбових з'єднань є надзвичайно актуальним. Вібрація сільськогосподарської техніки спричинює рух елементів різьбового з'єднання у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: поступальний рух вздовж і обертальний рух навколо координатних осей. Внаслідок цього на гайку і різьбовий стрижень діють прискорення різного характеру які становлять як технічний так і науковий інтерес з огляду вивчення питання забезпечення працездатності різьбового з'єднання.

**Метою досліджень** є отримання залежностей зміни кінематичних параметрів точок опорної поверхні гайки від часу. У дослідженні використовуються теоретичні методи досліджень, зокрема теоретична механіка, математичний аналіз, механіка матеріалів. Теоретичні дослідження проведені з використанням середовища MatLab R-2007b.

© Я. М. Михайлович, А. М. Рубець, 2015

**Аналіз останніх досліджень.** На теперішній час проведено дослідження впливу на надійність різьбових з'єднань міцності, моменту загвинчування, якості виготовлення, умов роботи тощо.

Аналіз теоретичних рівнянь з розрахунку експлуатаційних властивостей різьбових з'єднань дозволив встановити параметри якості, що визначають їх довговічність [1].

Використання в процесі монтажу ультразвукових коливань приводить до зростання максимальних контактних тисків у зонах контакту і, як наслідок, підвищення міцності з'єднання. Ґрунтуючись на умові єдності процесів виготовлення та експлуатації різьбових з'єднань розроблена технологія гладкорізьбових з'єднань, що забезпечує підвищення надійності з'єднань «шпилька-корпус» з алюмінієвих і магнієвих сплавів і можливість автоматизації процесу складання [2].

Виявлення недосконалості методу контролю загвинчування різьбового з'єднання крутним моментом і пропозиція щодо підвищення точності завдання сили притискання з'єднаних деталей наведено в роботі [3].

Згадані роботи не висвітлюють однієї з причин послаблення різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки, тобто вібрації у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

На основі теоретичних досліджень отримано залежність зміни відносної динамічної величини від часу, що можна використати для планування профілактичних заходів в кожному окремому випадку вібраційного навантаження різьбових з'єднань, які пружними і дисипативними параметрами виведені у нерезонансні режими роботи [4].

Аналіз існуючих методів контролю зусилля в стрижнях загвинченого з'єднання та використання способу контролю якості монтажу висвітлюється в роботі [5].

Кінематичні параметри шпилькових з'єднань дозволяють судити про доцільність встановлення шпильок з відповідним напрямом гвинтової лінії різьби або використання того чи іншого способу стопоріння різьбового з'єднання [6].

Вивчення кінематичного аспекту послаблення різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки носить наукоємний характер і потребує теоретичних досліджень ще й з огляду підвищення вимог до якості сучасної сільськогосподарської техніки.

**Результати досліджень.** Однією з причин послаблення різьбового з'єднання є взаємне кутове переміщення різьбового стрижня та гайки. Таке переміщення виникатиме за умови відповідного характеру вібрації з'єднаних деталей. Саморозгвинчування у випадку коливань, направлених під кутом  $90^\circ$  до осі різьбового стрижня, буде відбуватись в наслідок втрати монолітності контактів між деталями з'єднання. Це явище виникатиме при встановленні різьбового стри-

жня з зазором та без розвантаження стику з'єднаних деталей. Спостереження показали, що останнє має місце в конструкціях сільськогосподарських машин, а це сприятиме складному руху опорної поверхні гайки.

Серед кінематичних причин можна виділити наступні послаблення різьбового з'єднання: а) виникнення взаємних кутових переміщень навколо нейтральної лінії різьбового стрижня від крутних коливань з'єднаних деталей; б) коливання з'єднаних деталей (на яку опирається головка болта і гайка у болтовому з'єднанні, гайка у шпильковому і головка гвинта у гвинтовому) у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, за яких виникатимуть тангенційні складові, що повертатимуть різьбовий отвір відносно різьбового стрижня [6].

Найбільші навантаження на контакт з'єднаних деталей виникають в області резонансних режимів, внаслідок чого різьбові з'єднання послаблюються. В межах даної роботи дані питання не розглядаються. Розглянемо коливання різьбового з'єднання. Джерелом коливань контакту з'єднаних деталей є сумарні коливання, що надійшли до кожної із деталей і є результатом власних коливань деталей та вимушених коливань від рухомих робочих органів. Рух точки  $O$  відносно деталі 1 характерний також для болтового з'єднання, коли до розгляду береться різниця коливань заміряних на опорній поверхні головки болта і опорній поверхні гайки. Працездатне різьбове з'єднання виконуватиме рух в межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони.

Вібрація різьбового з'єднання характеризується амплітудою, частотою і початковою фазою і частіше становить суперпозицію коливань у кожному з напрямів ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Заміряні на сільськогосподарській машині коливання різьбового з'єднання в точках  $O_1$  та  $O_2$  (рис. 1) можна звести до найпростішої параметричної форми:

$$\begin{cases} x_1 = a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + f_{1.1}) \\ y_1 = a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + f_{1.2}) \\ z_1 = a_{1.3} \cos(\omega_{1.3}t + f_{1.3}) \end{cases} \begin{cases} x_2 = a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + f_{2.1}) \\ y_2 = a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + f_{2.2}) \\ z_2 = a_{2.3} \cos(\omega_{2.3}t + f_{2.3}) \end{cases} \quad (1)$$

Однією з функцій різьбового з'єднання є забезпечення стабільності притискання з'єднаних деталей і встановлюється у напрямку дії домінуючого навантаження вздовж осі. В конструкціях сільськогосподарської техніки також переслідують цей принцип. Проте аналіз коливання показує наявність осьових складових вібраційних навантажень у поєднанні із поперечними. Це створює сприятливі умови до послаблення контакту з'єднаних деталей і повертання різьбового отвору відносно різьбового стрижня. Ці обставини обумовлюють необхідне зусилля притискання.

Першою умовою щільності контакту з'єднаних деталей буде нульове значення різниці переміщень:

$$a_{1.3} \cos(\omega_{1.3} t + f_{1.3}) z_1 - a_{2.3} \cos(\omega_{2.3} t + f_{2.3}) = 0. \quad (2)$$

звідки, враховуючи різницю фаз як  $f$ , у загальному вигляді залежність зміни початкової фази:

$$\varphi = \arccos \left[ \left( \frac{a_{1.3}}{a_{2.3}} \cos(\omega_{1.3} t) \right) \right] - \omega_{2.3} t. \quad (3)$$



Рис. 1. Вимірювання вібрації різьбового з'єднання техніки.

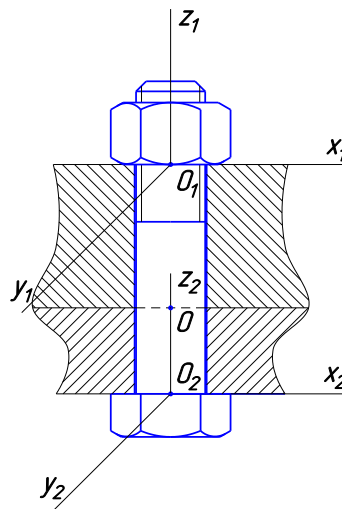


Рис. 2. Схема різьбового з'єднання.

Амплітуда відносних коливань різьбового з'єднання вздовж осей  $O_1 z_1$  та  $O_2 z_2$  (осі  $z_1$  та  $z_2$  співпадають) при однакових частотах у цих напрямках залежатиме від різниці початкових фаз коливань: амплітуда зростає від  $0$  до суми амплітуд  $a_z = a_{1.3} + a_{2.3}$  при збільшенні різниці початкових фаз від  $0$  до  $2\pi$  (рис. 3).

Частинний випадок виникає, коли амплітуди коливань під головою болта і гайки рівні за модулем (рис. 4):

$$f = (\omega_{1.3} - \omega_{2.3}) t.$$

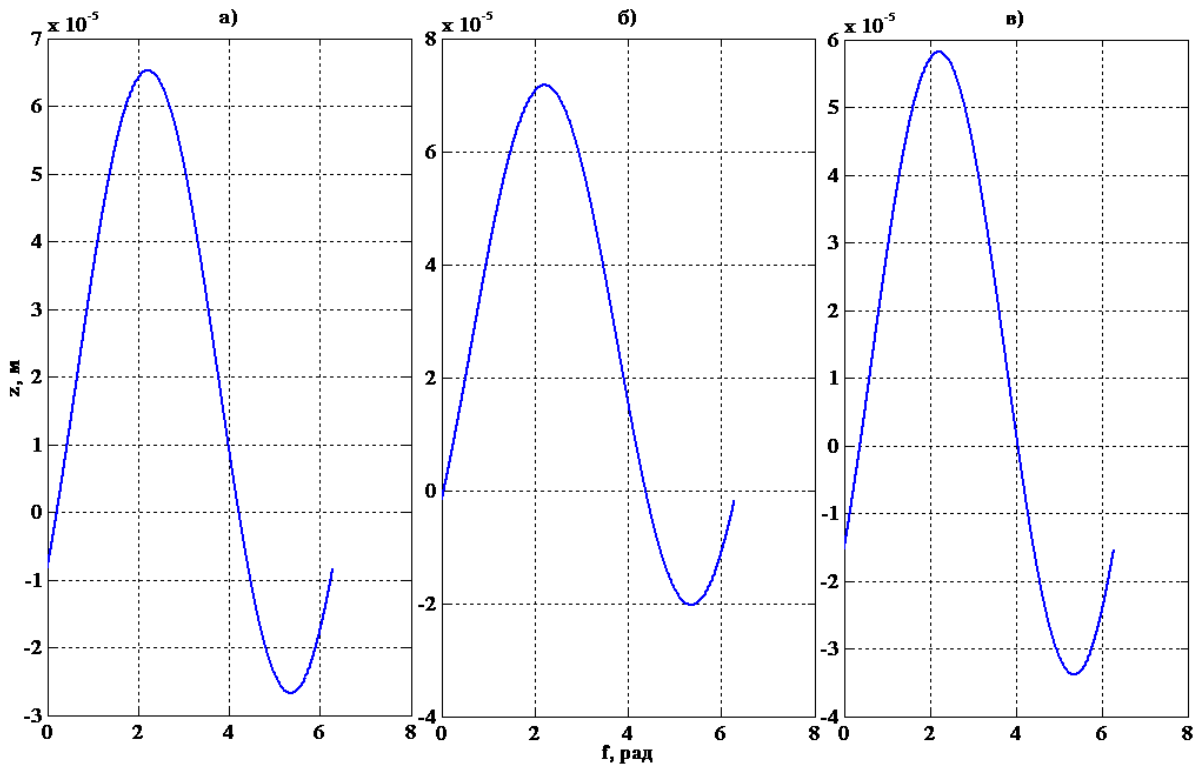


Рис. 3. Графік залежності зміни відносних переміщень від різниці амплітуд при відношенні кругових частот повздовжніх коливань: а)  $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=0,5$ ; б)  $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=1,0$ ; в)  $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=2,0$ .

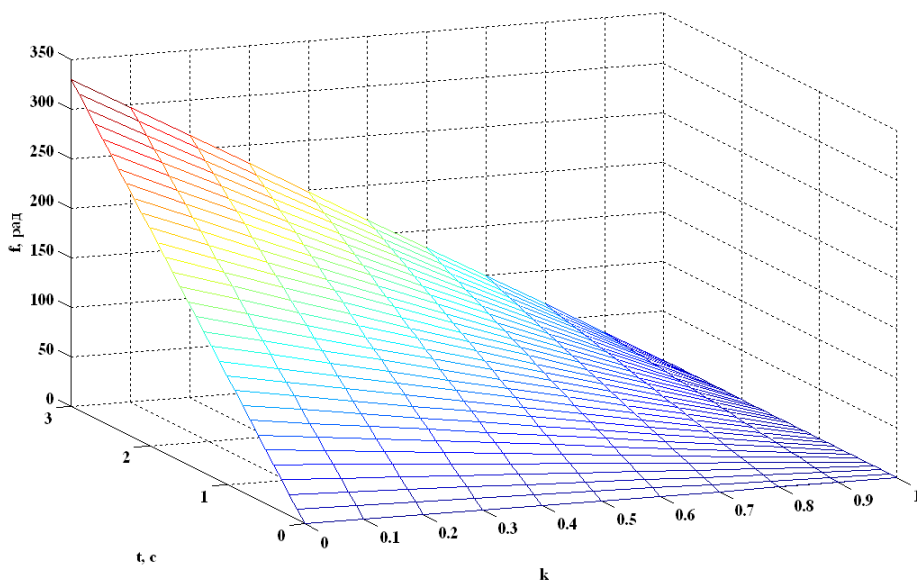


Рис. 4. Графік залежності зміни різниці початкових фаз  $f$  від часу  $t$  та відношення частот  $k$ .

Якщо і кругові частоти коливань однакові  $\omega_{1,3} = \omega_{2,3}$  умовою працездатності різьбового з'єднання є рівність початкових фаз:  $f = 0$ .

Другою умовою щільності контакту буде відсутність крутного коливання в момент сприяння розкриттю стику за першою умовою. Для практики важливо розвести ці два явища у часі, що ускладню-

ється наявністю періодичної складової даних процесів. Вирішення даного питання можливе двома шляхами: 1 – мінімізація крутного ефекту в площині поперечній до осі різьбового стрижня; 2 – використання раціонально орієнтованої різьбової пари чи напрямку різьби.

Другий спосіб актуальний, коли в конструкції машини є можливість встановити різьбовий стрижень зворотного напрямку. Часто це не можливо зробити через рух технологічного матеріалу в місці планованому для встановлення стрижня, створення неможливим технічне обслуговування (ТО) через відсутність чи ускладнений доступ до з'єднання. Напрямок різьби знижує взаємозамінність і уніфікацію деталей, що позначається на вартості ТО та ремонту.

Мінімізація крутного ефекту у поперечній площині має свої особливості. В ідеальному випадку вона можлива за мінімізації або обнуління коливань у поперечному напрямку, що неможливо з огляду технічних можливостей. Отже мінімізація. Протягом періоду нормальної роботи різьбове з'єднання виконуватиме відносний рух в межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони. У загальному випадку коливальної системи болтового з'єднання точки  $O_1$  та  $O_2$  виконуватимуть рух в площині  $XU$  за залежностями  $y_1(x_1)$  та  $y_2(x_2)$  відповідно (рис. 5).

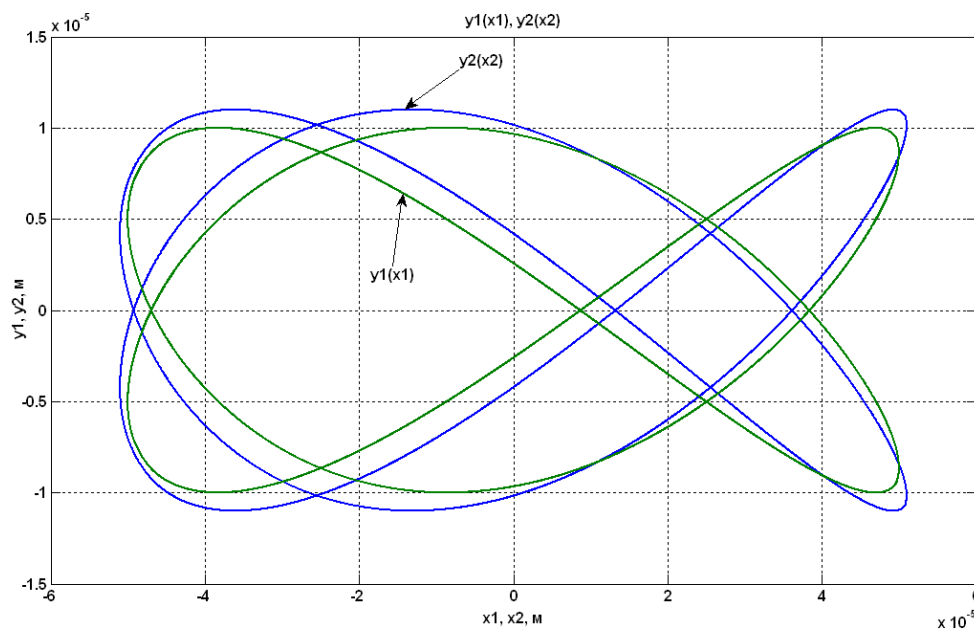


Рис. 5. Графік залежностей зміни переміщень в точках  $O_1$  і  $O_2$ .

Різні значення частот, початкових фаз та амплітуд задаватимуть кутові відхилення різьбового стрижня і гайки відносно положення рівноваги. Дане явище відбуватиметься до моменту послаблення різьбового з'єднання. Зниження амплітуди та частоти вібрації сільськогосподарських машин закладають на етапі проектування і виготовлення і обмежується сучасними досягненнями в машинобудуванні.

Зменшення впливу поперечної вібрації у напрямку  $x$  та  $y$  на опорній поверхні головки болта і гайки без зниження амплітуди та частоти коливань можливе зміною початкової фази.

Сумарне відхилення від положення рівноваги:

$$r_1 = \sqrt{[a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + f_{1.1})]^2 + [a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + f_{1.2})]^2},$$

має бути мінімізоване (рис. 6).

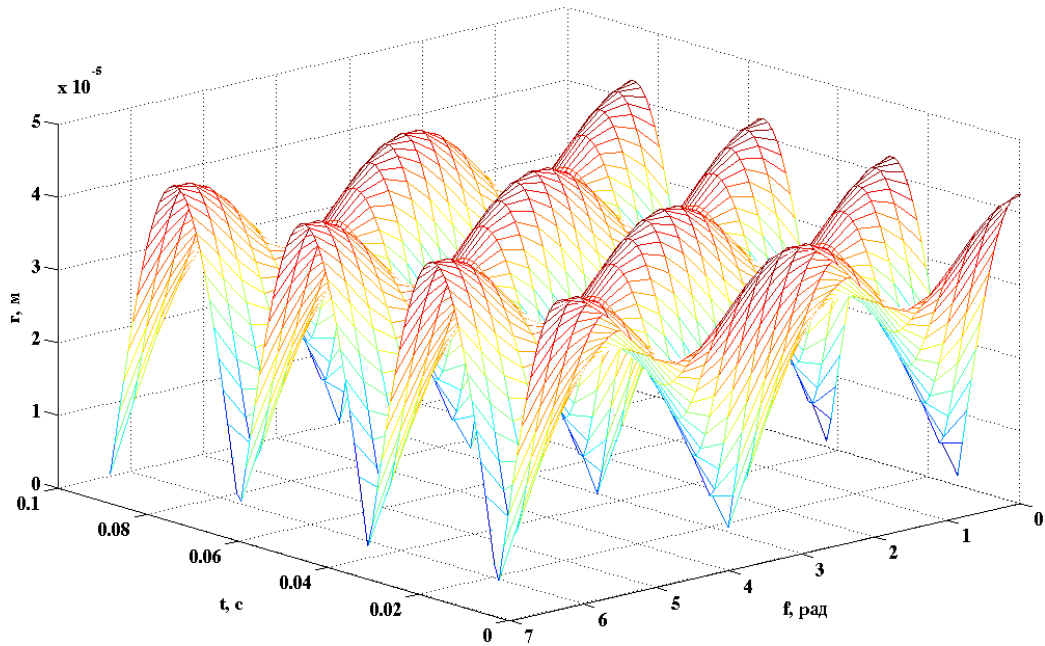


Рис. 6. Графік залежності зміни відхилення від положення рівноваги  $r$  від різниці початкових фаз  $f$  та часу  $t$ .

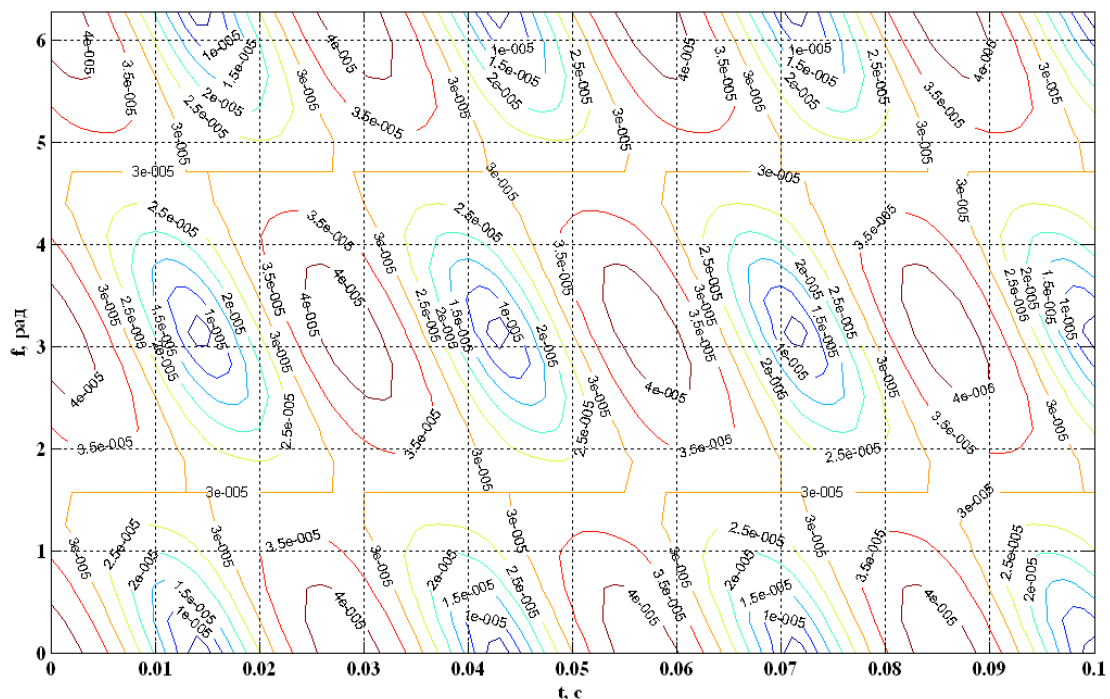


Рис. 7. Графік ліній рівня залежності  $r(f, t)$ .

Мінімальні значення добре зображуються графіком ліній рівня (рис. 7), де чітко видно точки  $(f, t)$  за найменшого значення величини  $r$ . Поява мінімумів є періодичним явищем за часом і різницею частот та в межах даної статті не розглядається.

В процесі роботи різьбового з'єднання на машинах з механічним приводом технічно неможливо змінити фазу коливань. Вирішення цього питання можливе на машинах із електроприводом (сервоприводом). Інформація із датчиків вібрації надходить до блоку управління і дає команду на електродвигун для зміни фази шляхом збільшення чи зменшення частоти обертання, після чого частота обертання стабілізується для забезпечення якості виконання технологічного процесу. Даний алгоритм є актуальним для машин із великою кількістю резонансних частот на робочих режимах.

### **Висновки**

На основі теоретичних досліджень отримано залежність зміни початкової фази від впливових факторів, що дає можливість судити про осьові вібраційні навантаження різьбового з'єднання і планувати профілактичні заходи для окремого різьбового з'єднання та давати рекомендації щодо уточнення геометричних розмірів з'єднання.

Зменшення різниці початкових фаз поперечних коливань дозволить зменшити крутий ефект вібрації, що особливо актуально в момент відмінного від нуля значення різниці початкових фаз по вздовжніх коливань під опорною поверхнею головки болта і гайки.

### **Список літератури**

1. Прокофьев А. Н. Технологическое обеспечение и повышение качества резьбовых соединений. Диссертация д. т. н. – Брянск, 2008. – 304 с.
2. Тепляков А. Ю. Повышение эффективности сборки и разборки резьбовых соединений путем применения ультразвуковых колебаний. Диссертация к. т. н. – Самара, 2004. – 192 с.
3. Соловьев В. Л. Пути обеспечения плотности стыка резьбовых соединений при производстве, техническом обслуживании и ремонте машин сельскохозяйственного назначения / В. Л. Соловьев // Омский научный вестник. – 2013. – №1(117). – С. 68–71.
4. Рубець А. М. Кінематика опорної поверхні гайки різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки / А. М. Рубець // Механізація та електрифікація сільськогосподарства. – Глеваха, 2014. – Вип. 99, т. 2. – С. 328–338.
5. Блаер И. Л. Качество сборки резьбовых соединений / И. Л. Блаер // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – №7. – С. 13–20.
6. Рубець А. М. Рух точок нейтральної лінії різьбового стрижня шпилькового з'єднання сільськогосподарської техніки під впливом поперечної вібрації / А. М. Рубець // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 2. – С. 19–21.

*Приведены основные параметры движения точек, лежащих на опорной поверхности гайки и головки болта, которые опреде-*



*ляют работоспособность соединения. Выполнение предложенных действий во время проектирования, изготовления и использования резьбовых соединений позволит продлить срок их службы.*

***Резьбовое соединение, техника, кинематика.***

*The basic parameters of movement of points lying on the supporting surface of the nut and bolt that determine of working ability of connection are shown. Implementation of the proposed action in the designing, manufacturing and usage of threaded connections will extend their working time.*

***Threaded connection, machinery, kinematics.***

УДК 001.32

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ КАФЕДРИ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА СИСТЕМОТЕХНІКИ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА П.М. ВАСИЛЕНКА**

***Д. Г. Войтюк, кандидат технічних наук,  
член-кореспондент НААН***

***Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук***

***В. В. Теслюк, доктор сільськогосподарських наук***

*Наведені основні результати науково-технічної та інноваційної діяльності за останні роки функціонування кафедри.*

***Наука, техніка, дослідження, інновації, кафедра.***

Однією з тенденцій розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва передових країн світу є впровадження системи точного землеробства (СТЗ) – практичного застосування змінних норм (доз) внесення технологічних матеріалів (насіння, пестицидів, добрив тощо) у відповідності до унікальних особливостей кожної елементарної ділянки поля. Система точного землеробства дозволяє максимально ефективно використовувати потенціал сільськогосподарських угідь при значному зменшенні техногенного навантаження на навколишнє середовище.

В руслі цієї передової тенденції розвитку сучасного рослинництва на кафедрі функціонує Проблемна лабораторія "Точне землеробство" (ПЛТЗ), науковим керівником якої є професор Войтюк Д. Г. і який очолив наукову школу технологій точного землеробства.

© Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Теслюк, 2015

Проблемна лабораторія проводить, як теоретичні так і експериментальні дослідження на полях Чернігівської, Черкаської областей, а також на полях навчально-дослідного господарства НУБіП "Велико-снітинське" Фастівського району Київської області. У формуванні ідейного та теоретичного рівня Проблемної лабораторії приймають участь члени кафедри проф. Аніскевич Л. В., доценти Волянський М. С., Смолінський С. В., Ямков О. В., Броварець О. О., ст. викладач Вечера О. М., аспірант Росамаха Ю. О. тощо.

Одним з основних напрямів досліджень ПЛТЗ є обґрунтування науково-практичних основ застосування безпілотних польових інформаційних машин в рослинництві з розробкою теорії побудови навігаційно-управляючого комплексу машини та методики обробітку комплексної навігаційної інформації (проф. Войтюк Д. Г., проф. Аніскевич Л. В., доц. Броварець О. О.).

Вперше у світовій практиці запропонована (проф. Войтюк Д. Г., проф. Аніскевич Л. В.) нова методика отримання високоточної інформації про місцевизначену врожайність для побудови картограм врожайності із використанням інтегральної моделі Дюамеля на основі імпульсних перехідних характеристик збиральних машин в функції часу (патент України на винахід № 69902, 2012 р). Методика включає комбінацію спеціально розроблених алгоритмів відновлення інтенсивності вхідного потоку зерна за даними датчика маси зерна комбайна. На початковій і кінцевій ділянках картографування врожайності (на вході та на виході кожного гону комбайна), а також на ділянках з різкою зміною інтенсивності потоку зерна в бункер використовується комбінація так званого "стрічкового" алгоритму та алгоритму екстраполяції за швидкістю з ваговими коефіцієнтами, що налагоджуються. На інших ділянках роботи комбайна використовується запропонований диференціальний алгоритм.

На рівні світової новизни запропоновано (проф. Войтюк Д. Г., проф. Аніскевич Л. В., доц. Смолінський С. В.) методику прогностичного способу регулювання режимами функціонування робочих органів збиральної машини для вирішення проблеми нерівномірного завантаження робочих органів комбайна технологічним матеріалом внаслідок зміни рівня місцевизначеної врожайності та умов комбайнування по напрямку ходу машини (патенти України № 79450, № 79451, 2013 р.).

Розроблено (проф. Аніскевич Л. В., проф. Войтюк Д. Г.) методику обробітку комплексної навігаційної інформації з процедурою калмановської фільтрації "розщепленого" типу яка дозволяє визначити необхідний склад та техніко-технологічні вимоги до навігаційного обладнання для досягнення підвищеної точності і надійності ви-

конання польових механізованих операцій за технологіями СТЗ (патент на корисну модель України № 68193).

Проводяться перспективні дослідження в області місцевизначеної сівби (проф. Аніскевич Л. В., аспірант Росамаха Ю. О.). Зокрема відомо, що при сівбі просапних культур необхідно забезпечити таку заробку насіння, при якій будуть дотримані оптимальні значення тепла, вологи, поживних речовин, аерації, достатньої площі для росту і розвитку рослини. Довкола насінини необхідно сформувати ядро ущільненого і зволоженого ґрунту, а зверху утворити дрібногрудочкувату і ущільнену до  $1,3 \text{ г/см}^3$  структуру. Причому 90 % насінин повинно залягати на заданій (з допустимим відхиленням) глибині незалежно від стану нерівностей поверхні поля. Особливо ці вимоги обов'язкові до виконання при проведенні місцевизначеної сівби. Для досягнення описаних вимог запропоновано двофазний спосіб заробки насіння сільськогосподарських культур в ґрунт у відповідності до якого процес заробки насіння відбувається за 2 фази. На першій фазі конусний щілиноутворювач входить в ґрунт і формує щілину зі сприятливими до заклинювання в ній насіння геометричними параметрами в яку подається насіння. На другій фазі вступає в роботу вдавлюючий диск з певними геометричними параметрами, який переміщує насінину донизу з утворенням ущільненого шару довкола насінини (патент України № 100986, 2014 р.).

Важливим напрямком удосконалення технологій точного землеробства є пошук новітніх способів внесення технологічних матеріалів. На сьогодні внесення технологічних матеріалів відбувається виключно за допомогою машинно-тракторних агрегатів у контакті з сільськогосподарським полем, наприклад, розкидним способом, ефективність якого відносно низька. Тому запропоновано (проф. Аніскевич Л. В., доц. Броварець О. О.) принципово новий підхід до внесення технологічних матеріалів, а саме балістичний спосіб внесення (патент України № 100986, 2015 р.). Такий спосіб внесення технологічних матеріалів у точному землеробстві дозволяє уникнути негативного впливу опорно-ходових систем МТА на ґрунт, різко знижує витрати паливно-мастильних матеріалів, сприяє значному підвищенню точності і продуктивності реалізації технологій перемінних норм внесення технологічних матеріалів, а також сприяє заощадженню останніх в середньому на 20-25 %.

Сучасний стан сільськогосподарського виробництва потребує забезпечення інформаційною базою про родючі властивості сільськогосподарських угідь і стан фітоценозів для оптимізації технологічних процесів, спрямованих на отримання сталих та високих врожаїв сільськогосподарських культур. Інформаційна база про стан сільськогосподарського поля є джерелом раціонального менеджменту

процесами внесення технологічних матеріалів, догляду за станом фітоценозів, збирання врожаю рослинної продукції тощо. Колективом наукової школи ТЗ проф. Войтюка Д. Г. розвинено ідеологію застосування для моніторингу стану сільськогосподарських угідь малогабаритних автоматизованих систем збору польових даних.

Глибокі дослідження (доц. Ямков О. В.) проведені у напрямі удосконалення бурякозбиральної техніки шляхом обґрунтування параметрів та режимів роботи гичкозбиральних і викопуючих робочих органів з метою зменшення енергоємності їх робочих процесів. Досліджено схему компоновки бурякозбирального агрегату і досягнуто підвищення точності копіювання напрямку рядків коренеплодів, що зменшує втрати останніх при збиранні.

На замовлення Міністерства аграрної політики України визначено і обґрунтовано (доц. Волянський М. С.) конструктивні параметри, розраховано технологічні режими, енергетичні і тягово-зчіпні властивості надлегкого мобільного енергетичного засобу, досліджено динаміку його руху, обґрунтовано конструктивні параметри технологічних модулів до нього із застосуванням статистичної динаміки.

Особлива увага приділяється розвитку актуального та перспективного наукового напрямку досліджень – техніко-технологічного забезпечення виробництва органічної продукції. Для забезпечення замкнутого циклу вирощування екологічно чистої рослинницької продукції, поряд із створенням машин для внесення пестицидів, на кафедрі започатковано лабораторію «Техніко-технологічного забезпечення виробництва і застосування мікобіопрепаратів» (науковий керівник проф. Теслюк В. В.).

Вченими кафедри (науковий керівник – проф. Войтюк Д. Г., виконавець доц. Онищенко В. Б.) розроблено обприскувач польових культур із регульованою дисперсністю крапель та пневматичною системою осадження крапель робочої рідини, а також обприскувач польових культур з автоматичним регулюванням норми внесення, які пройшли державні приймальні випробування в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Обприскувачі дозволяють забезпечити внесення змінної норми робочої рідини шляхом автоматичного підбору розпилюючих насадок для забезпечення заданої якості виконання технологічного процесу за різних технологічних умов.

В співпраці із вченими спеціалістами ННЦ "ІМЕСГ" НААН України, науковцями кафедри (Вечера О. М.) розроблено і виготовлено нові стаціонарні універсальні протруювачі неперервної дії інерційно-фрикційного типу ПНУ-4 і ПНУ-10. Протруювачі здійснюють дозування, розподілення насіння і обробку його нерозпилим рідким препаратом за допомогою одного робочого органу. Ці машини реалізують процес нанесення рідких препаратів на насіння сільськогоспо-

дарських культур за рахунок інерційних сил і використання бокової поверхні зернівок як робочої. В результаті порівняльної оцінки основних технічних, технологічних і експлуатаційних показників протруювачів різних типів можна зробити висновок про незаперечну перевагу розроблених протруювачів інерційно-фрикційного типу.

Співробітниками кафедри (доц. Гуменюк Ю. О.) проводяться дослідження динаміки руху ґрунтообробних машин, зокрема питання адаптації робочих органів до ґрунтових умов.

Під керівництвом професора Войтюка Д. Г. розпочато дослідження впливу електромагнітного випромінювання крайньовисоко-частотного *КВЧ*-діапазону на біоб'єкти, а також дослідження фізичних механізмів, які лежать у основі резонансного поглинання та інформаційного впливу мікрохвиль на рослини.

Приділено багато уваги дослідженню історії розвитку сільськогосподарської техніки, сільськогосподарського машинобудування, філософії техніки, як науки та наукової спадщини українських діячів науки і техніки. Так, під керівництвом професора Д. Г. Войтюка проаналізовано історію розвитку конструкції плуга, досліджено діяльність видатних вчених у галузях землеробської механіки, механізації сільськогосподарського виробництва і машинобудування.

*Приведены основные результаты научно-технической и инновационной деятельности за последнее десятилетие функционирования кафедры.*

***Наука, техніка, дослідження, інновації, кафедра.***

*The basic results of scientific, technical and innovative activity for the last decade of functioning of department are resulted.*

***Science, machinery, researches, innovations, department.***

УДК 631.356.2

## **ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ УДОСКОНАЛЕНИМ КОПАЧЕМ ВІБРУЮЧОЇ ДІЇ**

***С. П. Сокол, кандидат технічних наук  
Дніпропетровський державний аграрно-економічний  
університет***

*Запропоновано математичну модель процесу вібраційного викопування коренеплодів. Передбачено режим вібрації, за якого*

© С. П. Сокол, 2015

забезпечується прискорений вихід коренеплоду з ґрунту, що дає можливість зменшити довжину лемеша і являється додатковим фактором зниження тягового опору при викопуванні.

**Коренеплід, ґрунт, викопування, робочий орган, леміш (клин), опір, вібрація.**

**Постановка проблеми.** Останнім часом вібраційні машини та вібраційні робочі органи набувають широкого використання в різних галузях виробництва, у тому числі й в сільськогосподарському машинобудуванні [1–4].

**Аналіз останніх досліджень.** У наукових літературних джерелах надається загальний підхід до розрахунку і проектування вібраційних машин, відмічаються переваги взаємодії активного робочого органу із середовищем, що піддається обробці, проте причини цих переваг не завжди достатньо з'ясовані. В роботі [5] розглянута можливість зниження тягового опору з використанням вібрації робочого органу на прикладі клина (лемеша) як складової і основної частини удосконаленого копача коренеплодів, що має форму скоби [6]. Математична модель різання ґрунту клином, що рухається рівномірно в горизонтальному напрямку, наведена в роботі [7], де до аналізу відносного руху об'єму ґрунту, що взаємодіє з клином, застосовано теорему Ейлера для суцільного середовища, що дало можливість визначити сили, які виникають в системі «клин-ґрунт».

Однак вплив вібрації на процес видалення коренеплоду з ґрунту, а також характер вібрації залишається не до кінця з'ясовані, тому **метою досліджень** є створення математичної моделі процесу вібраційного викопування та надання рекомендацій його практичного застосування.

**Результати досліджень.** Дослідження взаємодії віброуючого клина з ґрунтом проведено за розрахунковою схемою, наведеною на рис. 1. Схема передбачає, що клин, рухаючись в горизонтальному напрямку, здійснює ще й гармонійні коливання в напрямку осі  $OY$ . Прийнято припущення, що за незначної амплітуди коливань ( $a = 2...3$  мм) і достатньо високої частоти  $\omega$ , яку можна реалізувати, виходячи з технічних і економічних можливостей, підрізаний шар ґрунту не буде здійснювати коливань разом з клином, а в підрізаному стані отримуватиме імпульсні поштовхи знизу, в напрямку осі  $OY$ , і відносно (уздовж) віброуючої поверхні ґрунту буде рухатися з такою ж відносною швидкістю, як і по поверхні клина, коливання якого відсутні. Аналітичні дослідження підтвердили, що за один період коливання клин тільки незначну частину цього часу буде перебувати в контакті з підрізаним шаром ґрунту і тільки в цей час виникає опір пере-

міщенню, який є суттєво меншим, ніж у випадку руху, «пасивного» клина.

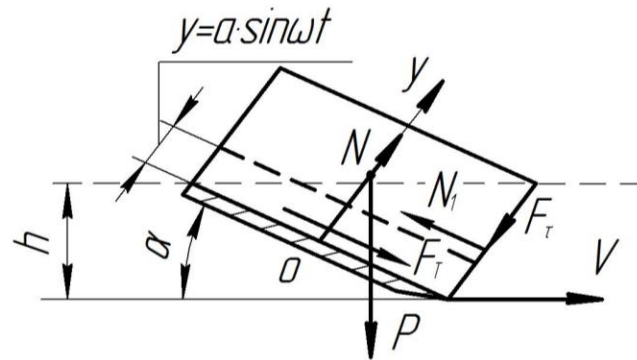


Рис. 1. Схема взаємодії ґрунту з вібруючим клином.

Розглянемо, як впливає вібрація клина на викопування коренеплоду рис. 1. Враховуючи, що масив ґрунту на клині знаходиться в об'ємі, замкненому з боків стояками скоби, а попереду і позаду – ґрунтом, який з клином безпосередньо не взаємодіє, висновки що отримані на основі гіпотези твердого тіла, можна поширити на випадок однорідного вологого піщаного ґрунту або пластичного глинистого. Реальний ґрунт частіше являє собою неоднорідне середовище, яке формувалося погодно-кліматичними умовами, верхній шар його змінювався ущільнюючись, у процесі зростання в ньому коренеплодів. Неважко передбачати, що під дією вібраційних поштовхів від клина нижня частина масиву ґрунту буде ущільнюватися, а вся інша розкришуватиметься. В'язі між окремими агрегатними частинами і коренеплодом будуть при цьому руйнуватися, що покращує його умови виходу на денну поверхню. На початку викопування коренеплід підрізується клином і при вібрації з кожним поштовхом клина він, як суцільне тіло, буде рухатися в напрямку вібрації, все більше виштовхуючись з ґрунту, який розкришується. Якщо клин має достатню довжину, то коренеплід після виходу із скоби повністю звільниться від взаємодіючого з ним ґрунту. Такого висновку можна дійти, розглядаючи рух масиву ґрунту на клині і рух буряку після отриманого поштовху від клина (рис. 2).

Теоретично вихід коренеплоду на денну поверхню можна поділити на два етапи. На першому етапі ґрунт і коренеплід, зазнавши поштовху від клина знизу, набувають однакової швидкості в напрямку вібрації клина:

$$V_0 = a \cdot \omega + V \sin \alpha, \quad (1)$$

де:  $a\omega$  – максимальна відносна швидкість клина;  $V$  – швидкість трактора.

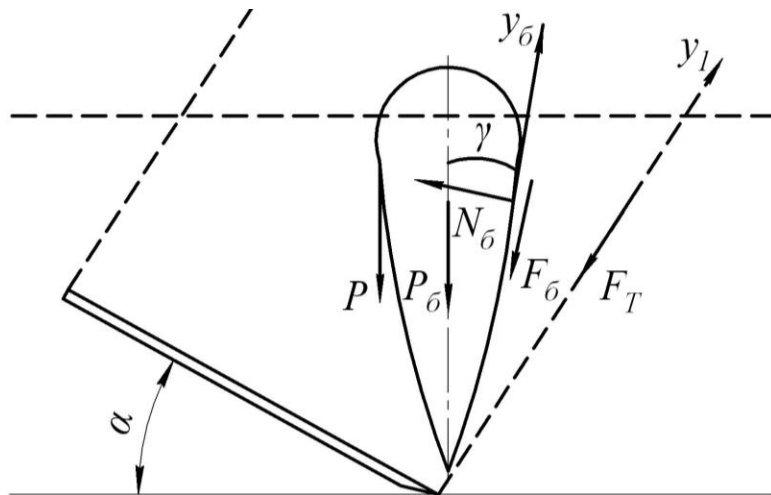


Рис. 2. Схема сил, що діють на коренеплід та масив ґрунту на клині після поштовху від клина.

Як показує досвід експлуатації клина, розкришений ґрунт не уникає від поштовху, а, інтенсивно гальмуючись силами сколювання  $F_T$  за одне коливання, реально переміщується в напрямку коливань на відстань:

$$\Delta y = a + V \cdot 0,25T \sin \alpha. \quad (2)$$

Після поштовху буряк може відокремитися від масиву, який стримується силою  $F_T$  на лінії сколювання. Диференціальне рівняння руху буряку вздовж осі  $y_\delta$  матиме вигляд:

$$m_\delta \ddot{y}_\delta = -P_\delta \cos \gamma - F_\delta, \quad (3)$$

де:  $F_\delta$  – сила тертя; і її визначимо за рівнянням

$$F_\delta = f \cdot N_\delta = f \cdot P_\delta \sin \gamma. \quad (4)$$

Тоді  $m_\delta \ddot{y}_\delta = -P_\delta \cos \gamma - f \cdot P_\delta \sin \gamma$ , що дає можливість розрахувати переміщення коренеплоду за час, протягом якого клин здійснить нове коливання і відбудеться наступний поштовх.

На другому етапі викопування коренеплоду відбувається завдяки поштовхам, які забезпечуються не підрізаючим клином а ґрунтом. Для цієї ситуації умовна схема сил, що діють на буряк представлена на рис. 3. Динамічний тиск ґрунту на буряк визначимо як

$$F = \frac{\gamma_{об}}{g} S_{np} \cdot V_\kappa^2, \quad (5)$$

де:  $\gamma_{об}$  – питома вага ґрунту;  $S_{np}$  – площа проекції буряку на площину клина;  $V_\kappa$  – швидкість клина в напрямку вібрації.

Нормальна реакція  $N$ , Кулонове тертя  $F_T$  та динамічний тиск  $F$  умовно показані на рис. 3. Ці сили реально розподілені по всій бічній поверхні буряку який приймається за конус діаметра  $d$ , висотою



$h$  і конусністю  $\gamma$ . Надалі сили  $F_T$  і  $N$  будемо вважати рівнодійними динамічного тиску на буряк від клина (зліва на буряк) і реактивного тиску ґрунту на буряк справа.

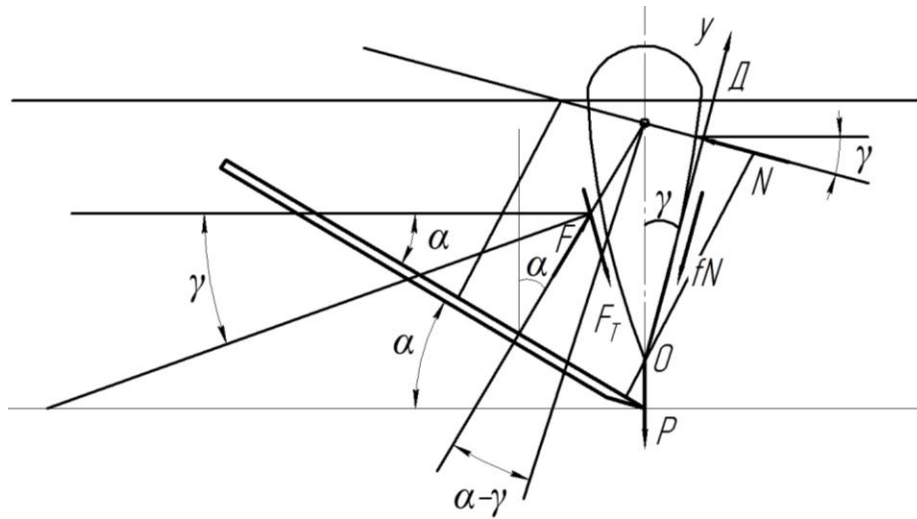


Рис. 3. Схема сил, що діють на коренеплід за вібраційного викопування.

Під дією сил  $F$  і  $N$  буряк буде виштовхуватися, при цьому виникатимуть сили тертя  $F_T$  і  $N_T$ , які визначимо так:

$$N_T = f \cdot N; \quad F_T = f \cdot F \cos(90^\circ - \alpha - \gamma). \quad (6)$$

Приймаючи, що при викопуванні буряк буде рухатися вздовж лінії  $OD$ , розглянемо рівновагу сил в напрямку дії сили  $N$ .

$$N - F \sin(\alpha - \gamma) - F_T \sin 2\gamma - P \sin \gamma = 0, \quad (7)$$

або, враховуючи формулу (6), знайдемо:

$$N = F \left[ \sin(\alpha - \gamma) + f \cos(90^\circ - \alpha - \gamma) \sin 2\gamma \right] + P \sin \gamma.$$

Диференціальне рівняння руху буряку в напрямку осі  $OY$  набуде вигляду:

$$m\ddot{y} = F \cos(\alpha - \gamma) - P \cos \gamma - f N - F_T \cos 2\gamma. \quad (8)$$

При визначенні сили  $F$  будемо враховувати, що клин у разі взаємодії з ґрунтом має швидкість:

$$\dot{y} = a \cdot \omega + V \sin \alpha,$$

тоді

$$F = \frac{\gamma_{об}}{g} S_{np} [a \cdot \omega + V \sin \alpha]^2. \quad (9)$$

Інтегрування рівняння (8) з урахуванням виразів (7) і (9) дає можливість отримати переміщення коренеплоду за один поштовх, що передається ґрунтом. Як витікає з наведених викладок, вібрація клина в напрямку, перпендикулярному до його поверхні, забезпечує, крім підйому шару ґрунту на задану висоту, ще й виштовхування з

нього коренеплоду на денну поверхню. У такий спосіб клин, який здійснює коливання, викопуватиме коренеплід швидше, ніж клин пасивний, а його довжина може бути зменшеною. За такої зміни конструкції робочий орган, що має форму скоби, буде взаємодіяти з меншим об'ємом ґрунту, внаслідок чого знизиться опір його переміщенню.

**Висновок.** Запропонована математична модель процесу вібраційного викопування коренеплодів дозволяє за заданими характеристиками коливань раціонально змінювати геометричні характеристики удосконаленого копача коренеплодів, що має форму скоби, зокрема зменшувати довжину підрізаючого лемеша. Наслідком такої зміни є додаткове зниження тягового опору копача, що має форму скоби, при викопуванні коренеплодів.

### Список літератури

1. Булгаков В. М. Використання вібраційних робочих органів при викопуванні коренеплодів цукрових буряків / В. М. Булгаков // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 2. – С. 40–45.
2. *Машини та технологічне обладнання вібраційної дії (теорія і розрахунок): навч. посібник* / [Калетнік Г. М., Булгаков В. М., Паламарчук І. П. та ін.]. – К.: Хай-Тек Прес, 2013. – 280 с.
3. Верняев О. В. Активные рабочие органы культиваторов / О.В. Верняев. – М.: Машиностроение, 1983. – 80 с.
4. Максимов П. Л. Новые рабочие органы и машины для производства корнеклубнеплодов / П. Л. Максимов, Л. М. Максимов. – Ижевск, 2002. – 80 с.
5. Кобець А. С. Математична модель взаємодії ґрунту з вібруючим клином, та визначення кінематичних характеристик вібрації при викопуванні коренеплодів / А. С. Кобець, М. М. Науменко, С. П. Сокол // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. М. Василенка. – Х., 2010. – Вип. 93, т. 1. – С. 143–148.
6. Патент № 56385 Україна, МПК А01D 25/00. Викопувальний орган коренезбиральної машини / А. С. Кобець, М. М. Науменко, С. П. Сокол, А. М. Пугач ; Дніпропетровський ДАУ. – № u2010 08527; заявл. 08.07.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.
7. Математична модель взаємодії рухомого клина з ґрунтом / А. С. Кобець, М. М. Науменко, С. П. Сокол, А. М. Пугач // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 1. – С. 43–50.

*Предложена математическая модель процесса вибрационного выкапывания корнеплодов. Предусмотрен режим вибрации, при котором обеспечивается ускоренный вынос корнеплода из почвы, что дает возможность уменьшить длину лемеха, и служит дополнительным фактором снижения сопротивления при выкапывании.*

**Корнеплод, почва, выкапывание, рабочий орган, лемех (клин), сопротивление, вибрация.**

*It is given a mathematical model for root crops digging vibrating process. It is used such vibration mode, which provides a rapid removal of root crops from the soil. This makes it possible to reduce the length of the blade, which is an additional factor in resistance reducing during the digging process.*

**Root crop, soil, digging out, working body, wedge bar, resistance, vibration.**

УДК 338.433.4

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВТОРИЧНОГО РЫНКА ПОДДЕРЖАННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

**С. А. Соловьев, доктор технических наук**

**В. С. Герасимов, инженер**

**ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка»**

**В. П. Миклуш, кандидат технических наук**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»**

*В статье приведены основные принципы и мотивация создания и формирования вторичного рынка поддержанной техники в агропромышленном комплексе.*

**Мотивация, обновление, респонденты, модернизация, поддержанная техника, мониторинг, господдержка, ПОРТАЛ, информация.**

**Постановка проблемы** Состояние машинно-тракторного парка (МТП) АПК России и Республики Беларусь выдвигает важнейшую задачу разработки и быстрейшего практического использования вторичного рынка поддержанной сельскохозяйственной техники. Так в АПК России объем машинно-тракторного парка составляет примерно 50% от технологической и нормативной потребности, износ

© С. А. Соловьев, В. С. Герасимов, В. П. Миклуш, 2015

техники достиг 70-75 % от действующего парка. Обеспеченность АПК страны по тракторам снизилась в 2,9 раза, по зерноуборочным комбайнам в 3,5 раза, по кормоуборочным в 4 раза [1].

Сокращение парка сельскохозяйственной техники, рост физического и морального износа ведут к нарушению технологических процессов, сокращению объемов производства сельскохозяйственной продукции, увеличению ее себестоимости и снижению конкурентоспособности. Для улучшения ситуации необходимы первоочередные меры по защите отечественного рынка сельскохозяйственной техники. Но это процесс ни одного года. Выходом из сложившегося положения является задача создания вторичного рынка поддержанной техники, что послужит важным резервом сохранения технического потенциала сельскохозяйственных товаропроизводителей. Это является актуальной задачей развития сельскохозяйственного производства.

Отмечается также низкий уровень надёжности и качества, выпускаемой отечественной техники, так для тракторов наработка на отказ составляет 200-250 часов (технические условия – 600 часов), а у импортных тракторов этот показатель значительно выше и равен 800-1000 часов. Аналогичная ситуация с надёжностью и по другим группам сложной сельскохозяйственной техники. Продолжается моральное и физическое старение машинно-тракторного парка. Российские производители сельскохозяйственной техники не могут конкурировать по ценам с бывшей в употреблении техникой зарубежного производства, что значительно ослабляет позиции отечественных предприятий сельскохозяйственного машиностроения.

**Результаты исследований.** Мировая практика доказывает: вторичный рынок сельскохозяйственной техники наряду с рынком новой техники - эффективный способ решения ключевых вопросов материально-технического обеспечения сельского хозяйства. Рынок поддержанной техники позволяет улучшить техническую оснащённость сельских товаропроизводителей, и прежде всего низкорентабельных и убыточных предприятий, которые не имеют финансовых возможностей покупать новую технику или приобретать ее на условиях лизинга. Во вторичном рынке также заинтересованы агрохолдинги и рентабельные хозяйства, которые могут оперативно выставить на вторичный рынок поддержанную работоспособную технику, заменяя её новой, отвечающей современным технологиям сельскохозяйственного производства.

В экономике развитых стран машинный парк отраслевого производства продукции формируется за счёт двух рынков техники – новых машин и машин вторичного использования. По количеству единиц оборота они примерно равновелики. В России и Беларуси

для большинства машинных секторов и, прежде всего, для сельского хозяйства такая закономерность пока не характерна: развитого рынка вторичной техники, кроме автомобильного, к сожалению, не сформировано. В авторитетле подержанных машин реализуется на 15-20 % больше, чем новых.

Опыт использования вторичного рынка техники в развитых зарубежных странах подтверждает экономическую выгодность неоднократного изменения владельца машин в процессе их (машин) жизненного цикла. Как показывают расчёты, развитие вторичного рынка техники в сельском хозяйстве позволяет:

- ускоренно наращивать парк машин в связи с ростом объёмов работ в процессе модернизации отрасли ограниченными финансовыми ресурсами;

- поддерживать достаточный энергетический ресурс техники и у сельхозпроизводителей с низкими технологическими и финансовыми параметрами.

В текущей экономической ситуации для ускорения модернизации сельского хозяйства без эффективного вторичного рынка техники не обойтись: процесс может недопустимо затянуться. К этому принуждает высокая степень экономической дифференциации сельскохозяйственных товаропроизводителей. Например в России сегодня только 15-20 % сельхозпредприятий финансово самостоятельны, и могут быть отнесены в той или иной мере к сельскохозяйственному хай-теку. Они осваивают высокие технологии и технику новых поколений, как правило, зарубежных конструкций. Поддерживать высокий уровень производства такие хозяйства могут быть при ускоренной смене поколений машинно-технологических ресурсов. Для режима хай-тека с завершением гарантийного периода новой техники (4-5 лет – период ускоренной амортизации) целесообразно имеющуюся технику или часть её переправить на вторичный рынок. После восстановления параметров машин, назначения новых гарантийных обязательств, такие машины перепродаются новым владельцам-пользователям в хозяйства «среднего класса» для повторной эксплуатации на завершающем жизненном цикле машины до 10-15-летнего «возраста» машин. Часть этих машин может на третьем этапе найти новых пользователей в хозяйствах невысокого экономического достатка. Отечественная техника, как правила, может проходить смену пользователя не более двух раз – средние и слабые хозяйства.

Необходимость формирования рынка вторичной техники носит во многом укрупнённый характер, но с учётом доказанных его преимуществ положительным зарубежным и отечественным опытом автомобильного рынка можно сделать вывод о целесообразности и

высокой эффективности рынка вторичных машин в машинно-технологической системе сельского хозяйства. Участие государства в этом процессе во многом ускорит развитие и укрепление механизма вторичного рынка АПК [2].

Новизной исследований будет являться разработка типового проекта вторичного рынка подержанной сельскохозяйственной техники на региональном уровне с научно обоснованными параметрами и критериями в условиях рыночной экономики.

Во многих странах мира с развитым сельским хозяйством более 50 % механизированных работ у фермеров выполняется подержанными машинами. В США и Германии на один новый трактор приходится 3-4 подержанных. По данным Национальной ассоциации дилеров тракторных заводов в США насчитывается более 500 предприятий и пунктов по восстановлению подержанной техники [3].

Вторичный рынок на Западе легко адаптировался на общем аграрном рынке, так как отработанные столетиями правовые нормы рынка четко вписаны и во вторичный рынок (таможенные проблемы, субсидии, кредитная политика, реклама и т. д.).

Кроме того, развитию вторичного рынка в развитых зарубежных странах способствовали хорошо отлаженный технический сервис и льготные условия покупки, сбалансированная система скупки подержанной техники, ее восстановления, реализации и последующего ремонтно-технического обслуживания.

Опыт зарубежных стран показал, что развитие вторичного рынка подержанной сельскохозяйственной техники находится в прямой зависимости от внедрения принципов маркетинга, которые включают: исследование рынка сельскохозяйственной техники; определение планов и способов ее реализации; создание гибкой системы ценообразования; внедрение прогрессивных методов и приемов реализации техники, ее рекламу, методы стимулирования продаж; эффективная организация послепродажного сервисного сопровождения восстановленной техники.

Большое развитие получила система продажи подержанной техники на вторичном рынке в экономически развитых странах (США, Германия и др.), на рынке которых продается подержанных тракторов в среднем в 3 раза больше, чем новых. Срок службы большей части подержанных тракторов 4-5 лет, зерноуборочных комбайнов 3-4 года. Технику реализуют через дилерскую систему после качественного ремонта и обслуживания, ее стоимость – 30 % первоначальной. Побудительный мотив для всех участников вторичного рынка – прибыль, поскольку капитальный ремонт машин обходится в 2-3 раза дешевле покупки новой.

Многие ведущие мировые производители сельскохозяйственной техники в той или иной степени присутствуют на российском рынке. В настоящее время в мире существует 6 ведущих машиностроительных концернов, занимающихся производством сельскохозяйственной техники. Это Джон Дир (John Deere), Кейс Нью Холланд (Case New Holland), АГКО (AGCO), Клаас (Claas), Саме Дойц Фар (Same Deutz Fahr) и группа Арго (Argo). Техника этих производителей уже широко известна в России и пользуется спросом со стороны потребителей, поэтому объективная оценка положительного опыта зарубежных стран в эффективном использовании вторичного рынка крайне необходима, тем более, что продукция указанных производителей работает в России не один десяток лет и проблема ее использования на вторичном рынке весьма актуальна.

На примере развития вторичного рынка сельскохозяйственной техники Франции за последние 20 лет легко обнаружить тенденцию доминирования поставок подержанной техники в общем объеме поставок машин (рис. 1).

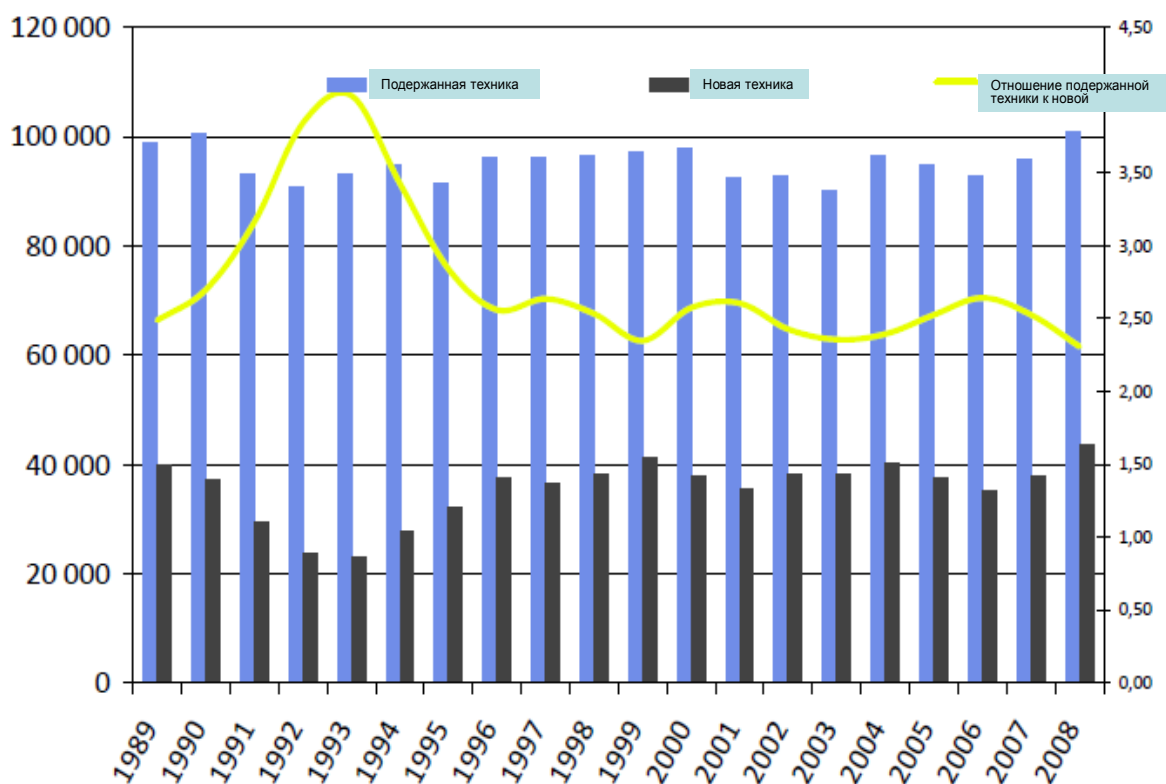


Рис. 1.

Анализ имеющегося опыта выдвигает основные (главные) особенности при формировании рынка подержанной сельскохозяйственной техники в конкретном регионе: выбор оптимальных типов и марок сельскохозяйственных машин, которые найдут уверенный спрос на вторичном рынке; изучение и анализ рынка восстановлен-

ных машин и агрегатов; рассмотрение и выбор различных схем реализации (прямая продажа, опт, лизинг, в том числе и льготный, краткосрочная или долгосрочная аренда, подрядные работы и т. п. продукции вторичного рынка); подбор ремонтных и базовых заводов с долгосрочными отношениями для поставок восстановленных узлов и деталей.

Однако главным инструментом при формировании рынка поддержанной техники является организация надежных партнерских отношений всех участников вторичного рынка с справедливым разделением финансовых рисков и соответствующим распределением дохода. На рис. 2 представлена принципиальная схема взаимодействия участников вторичного рынка поддержанной сельскохозяйственной техники на региональном уровне.

На региональном уровне в качестве основного базиса рынка поддержанной сельскохозяйственной техники будет выступать сеть ремонтно-технических и сервисных предприятий, которые даже в настоящее время являются мощным производственным потенциалом с большими техническими возможностями.

Учитывая первостепенную роль ремонтно-технических предприятий АПК в формировании и укреплении рынка поддержанной техники (РПТ) следует иметь в виду, что эта инженерная служба села подверглась значительному реформированию за последние 15 лет.

Затраты денежных средств сельхозтоваропроизводителей АПК России на ремонт МТП, по данным агропромышленных формирований регионов увеличились и составили около 60-65 млрд. руб. Ремонт в хозяйстве осуществляется в основном за счет замены неисправных узлов, агрегатов и запчастей и зачастую эта работа идет по схеме: из двух-трех поддержанных машин восстанавливается одна путем разукomплектования оставшихся.

Ремонту ежегодно подвергаются 58-63 % парка тракторов, более 60 % зерноуборочных комбайнов, около половины всех финансовых затрат по ремонту техники приходится на тракторы, примерно 25-28 % на зерно- и кормоуборочные комбайны.

В функционировании рынка поддержанной техники на региональном уровне роль инженерных служб весьма значительна и без их эффективной работы создать его практически невозможно.

Ремонтно-технические предприятия закупают бывшую в эксплуатации энергонасыщенную технику, причем ее отбор носит принципиально экономический характер: машины с остаточным ресурсом ниже 50 % нецелесообразно вовлекать в орбиту вторичного рынка. Ремонтные предприятия осуществляют полный комплекс восстановительных работ с заменой изношенных узлов и агрегатов новыми: антикоррозийную обработку, окраску машины, ее продажу сельхозтоваропроизводителю через РПТ, гарантийное и послегарантийное обслуживание.



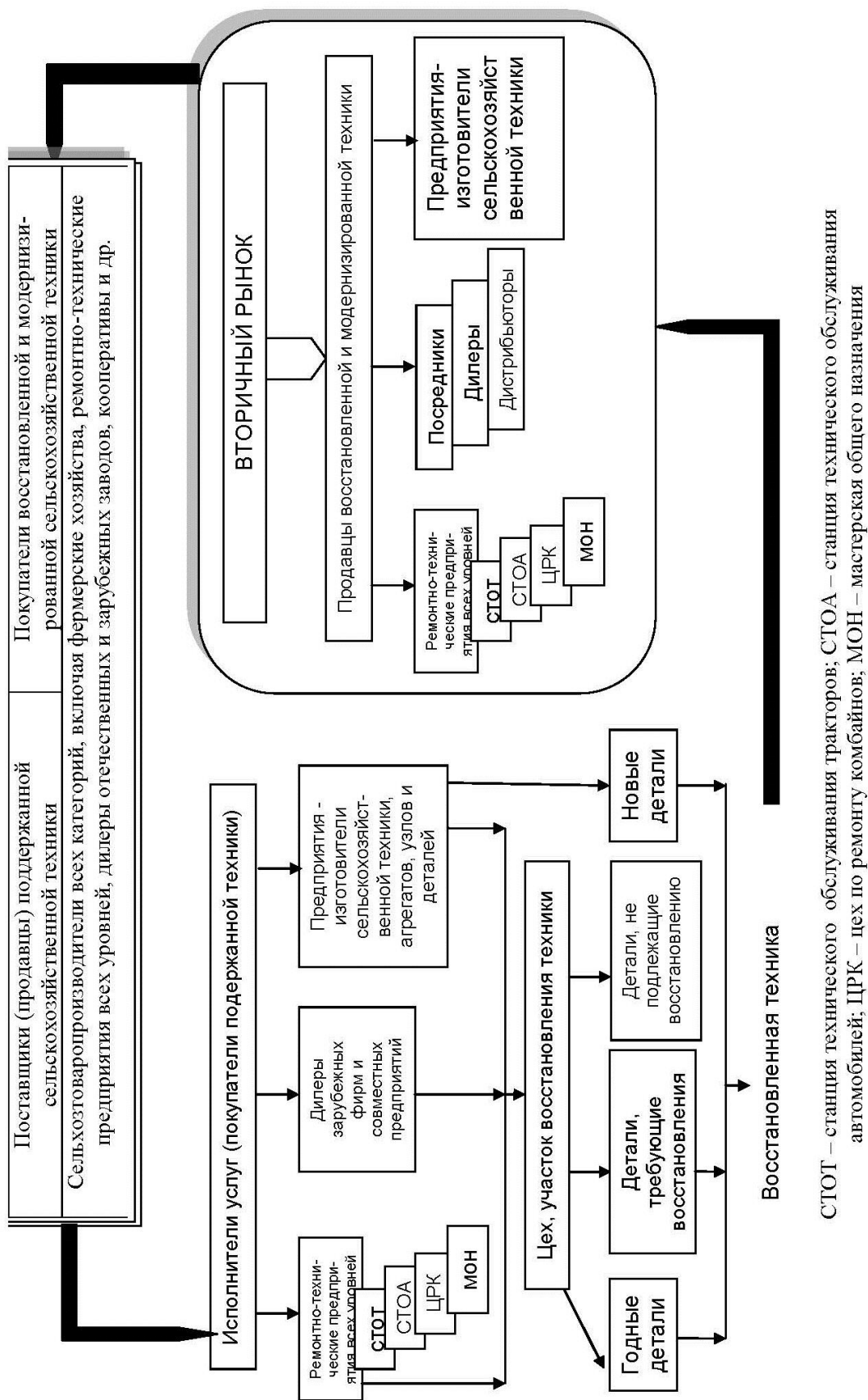


Рис. 2. Принципиальная схема взаимодействия участников вторичного рынка поддержанной сельскохозяйственной техники на региональном уровне.

Следует отметить, что у значительной части подержанной энергонасыщенной техники в результате длительной эксплуатации кабины тракторов (комбайнов), узлы трансмиссий и технологическое оборудование приходят в негодность. Из-за этого в хозяйствах списывают технику, хотя ресурс многих составных частей еще сохранился и их можно восстанавливать на специализированных ремонтных предприятиях, заменяя изношенные детали или восстанавливая их.

Большое внимание на ремонтно-технических предприятиях, работающих в орбите рынка подержанной техники должно уделяться организации восстановления деталей путем применения ресурсосберегающих технологий, использования эффективного технологического оборудования: станки с программным управлением, системы автоматизации процессов восстановления и контроля, высококачественного материала для нанесения покрытий на изношенные поверхности деталей.

В результате выполнения такого комплекса восстановительных работ сельский товаропроизводитель получает технику, практически не уступающую новым аналогам, но значительно дешевле (на 30-35 %).

Регламент гарантийного обслуживания, в том числе гарантийный срок восстановленной техники, которая поступает на вторичный рынок, разрабатывают ремонтные или иные предприятия, подготавливающие машину к продаже, например, дилеры.

Обязательное гарантийное обслуживание выполняется в соответствии с действующим законодательством и предусматривает восстановление в гарантийный период работоспособности машины без дополнительной оплаты при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, предусмотренных заводской инструкцией. Затраты на обязательное гарантийное обслуживание включаются в цену восстановленной машины. Они не должны превышать расходов на устранение отказов, допустимых по установленным нормативам. Сверхнормативные ремонты проводятся за счет предприятия и не учитываются в цене.

По технике, отказавшей из-за дефектов производства, проводится комплекс операций по восстановлению исправности, работоспособности и ресурсов машин или их составных частей. Заменять отказавшую машину следует, если для ее ремонта необходимо заменить не менее трех основных агрегатов или систем (двигателя, коробки передач, ведущего моста, рамы и др.).

Перечень и объем работ рекомендуемого обслуживания определяет потребитель по согласованию с изготовителем при покупке машины. При выборе варианта покупателю следует разъяснить, что

высокое качество обслуживания обеспечивается техническим потенциалом предприятия, квалификацией его работников и тесными связями с заводами-изготовителями.

Для большинства машин гарантийный период исчисляется с момента их продажи. Для комбайнов начало гарантийного периода определяется началом уборочного сезона, но после досборки. Это должно быть указано в договоре купли-продажи или гарантийном талоне.

При возникновении в гарантийный период отказа хозяйство должно прекратить эксплуатацию машины и сообщить о нем ремонтному предприятию. Претензия может быть передана по телефону, факсу или в письменном виде. Ремонтное предприятие ее регистрирует и рассматривает в течение суток.

Если очевидно, что отказ подлежит устранению в соответствии с гарантийными обязательствами и может быть ликвидирован на месте, то ремонтное предприятие направляет в хозяйство механика или при взаимном согласии передает хозяйству бесплатно необходимые запасные части.

Определенным тормозом становления вторичного рынка сельскохозяйственной техники в АПК являются определенные сложности с получением продавцами и покупателями необходимой информации. Практически не ведется статистический учет показателей сферы торговли поддержанной техникой.

Как показывает практика, развитие данной схемы купли-продажи машин обуславливает создание в АПК информационного поля о предложениях поддержанной сельскохозяйственной техники. Для этого на первоначальном этапе будет экономически целесообразным его создание за счет фонда поддержки производителей сельскохозяйственной продукции, продовольствия и аграрной науки.

В настоящее время рынок поддержанной сельскохозяйственной техники пока не отвечает в полном объеме запросам основных его участников – сельских товаропроизводителей и ремонтно-технических предприятий. Он не выполняет в должной мере одну из своих основных задач: целенаправленное сведение вместе всех желающих купить и продать восстановленные энергонасыщенные сельскохозяйственные машины и другую необходимую сельхозтоваропроизводителям продукцию вторичного рынка.

Наряду с постоянным изданием информации о поддержанной технике на федеральном уровне для оперативной работы по реализации продукции вторичного рынка целесообразно организовывать на региональном уровне электронные порталы, где участники его могут постоянно черпать информацию о движении поддержанной техники.

В 2010 году ГОСНИТИ организовал при своем сайте ПОРТАЛ – вторичной рынок сельскохозяйственной техники. В настоящее время с ГОСНИТИ по эффективному использованию ПОРТАЛА сотрудничают более 100 различных предприятий и организаций: сельскохозяйственные товаропроизводители, заводы-поставщики, ремонтные и снабженческие предприятия, сервисные мастерские, агрофирмы и другие организации АПК.

Эта совместная работа весьма перспективна прежде всего для партнеров ГОСНИТИ, в том числе и производителей сельскохозяйственной техники Республики Беларусь и других стран СНГ, которые не используя значительных финансовых затрат имеют серьезную информационную поддержку в реализации продукции вторичного рынка.

Основные элементы разработки типового проекта создания вторичного рынка (ВР) поддержанной с/х техники на региональном уровне.

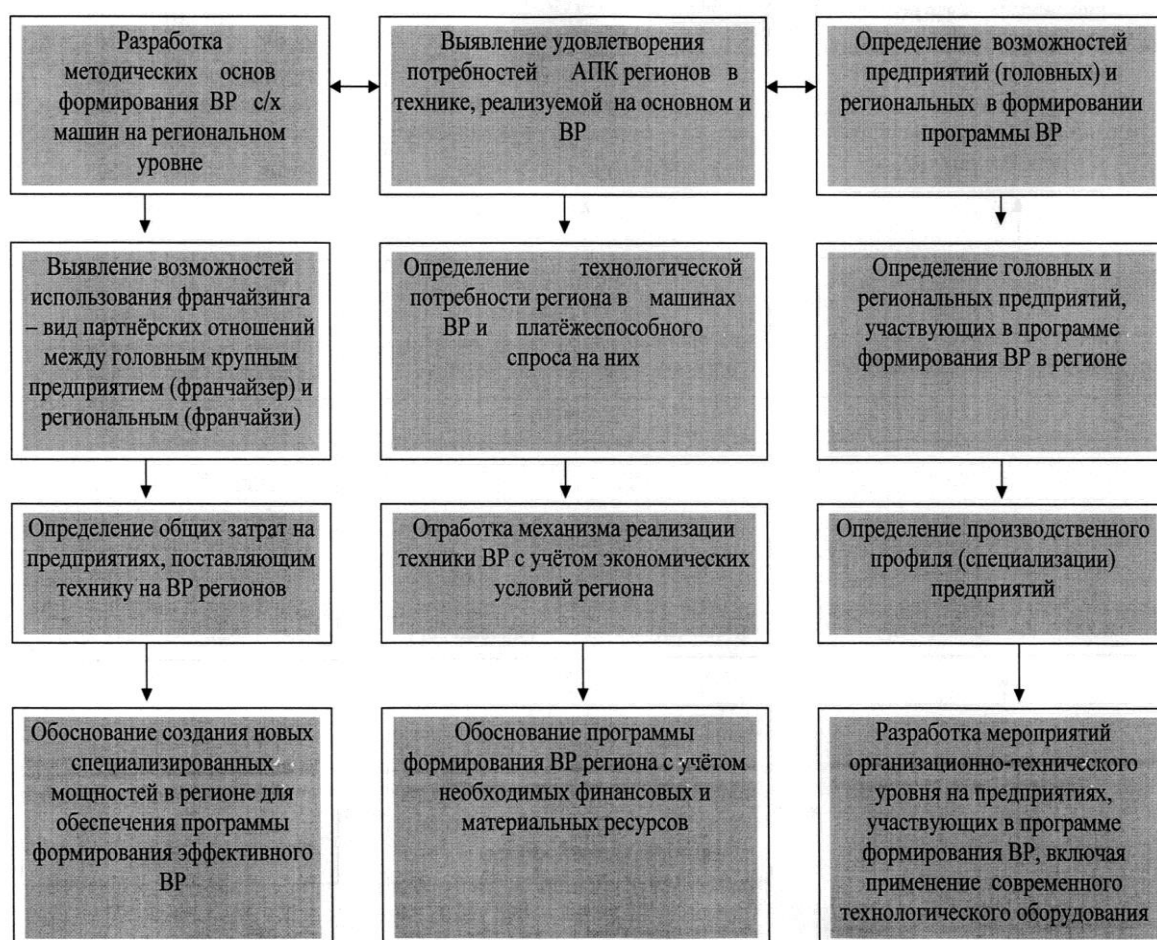


Рис. 3.

Рассмотрев состояние и возможности организации вторичного рынка поддержанной сельскохозяйственной техники на региональном

уровне можно обозначить основные элементы разработки типового проекта создания вторичного рынка поддержанной техники (рис. 3) и функционирование РПТ на региональном уровне (рис. 4).

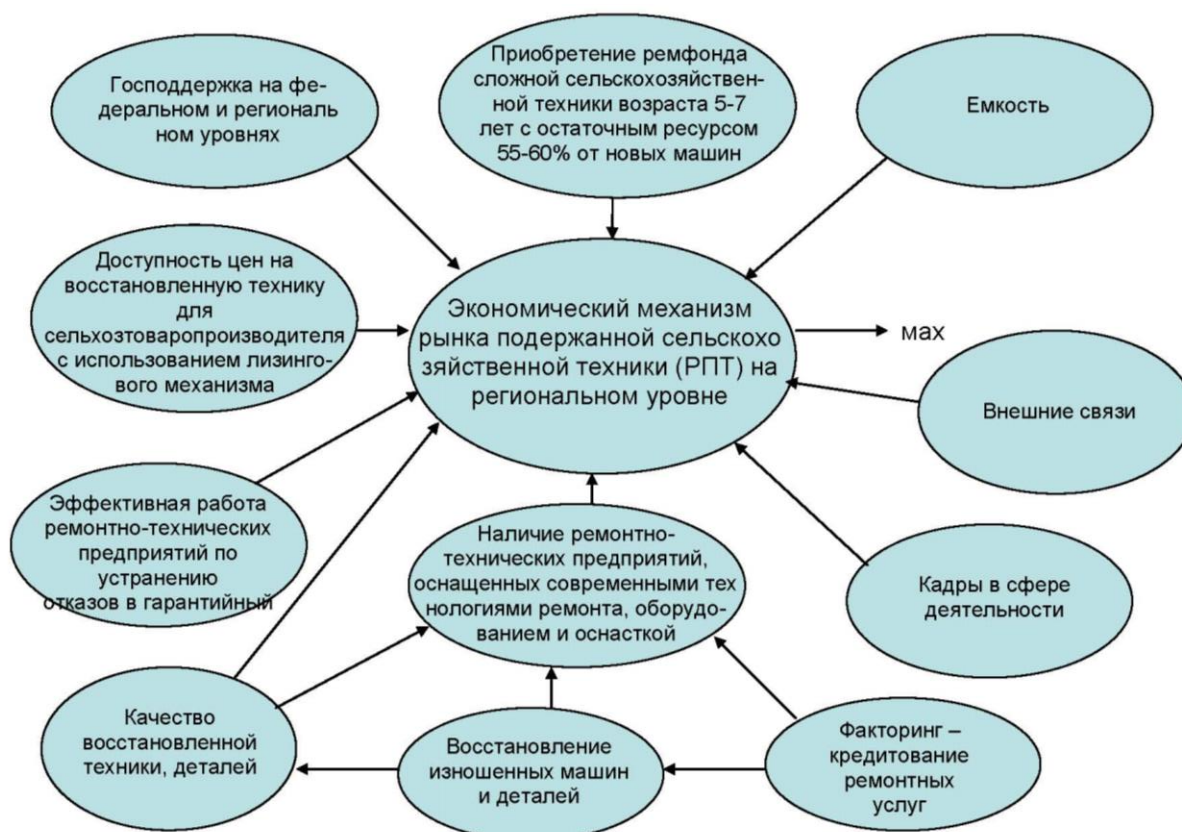


Рис. 4.

## Выводы

К особенностям функционирования вторичного рынка поддержанной сельскохозяйственной техники можно отнести следующие факторы: олигопольная структура рынка; огромные масштабы объекта ресурсообеспечения; дифференциация финансового состояния хозяйств; ограниченность использования техники, связанная с условиями сельскохозяйственного производства; сезонность спроса; большая разница в природно-климатических условиях; непропорциональность товарно-денежного обмена на средства производства и продукцию сельского хозяйства; различное экономическое состояние развития регионов; качество используемого дизельного топлива; квалификация механизаторов; низкий уровень обеспеченности сельскохозяйственных товаропроизводителей техникой и оборудованием; участие государственных компаний в процессе реализации техники конечным потребителям.

Учитывая необходимость быстрее перехода к практической работе в этом направлении, считаем целесообразным проведе-

ние следующих мероприятий: при формировании бюджетов государственных субъектов предусматривать выделение бюджетных ассигнований на оказание мер государственной поддержки ремонтно-техническим предприятиям, занимающимся ремонтом и модернизацией энергонасыщенной сельскохозяйственной техники; по процентным ставкам краткосрочных кредитов, которые берут ремонтно-технические предприятия в банках для закупки запасных частей, ремонтных материалов для ремонта подержанной техники довести субсидирование до уровня 100 % ставки рефинансирования; приобретение в сельскохозяйственных организациях бывшей в эксплуатации техники, ее ремонт и реализация по схемам, учитывающим интересы слабого и среднего звена сельскохозяйственных товаропроизводителей; максимальное использование неисправных тракторов, зерно- и кормоуборочных комбайнов и другой сложной сельскохозяйственной техники, поддающейся ремонту и модернизации; совершенствование организационных и технологических мероприятий для повышения ресурса подержанной энергонасыщенной техники, что реально позволит поднять уровень ее технической готовности до 92-95 %; увеличение объемов восстановления изношенных и изготовление новых деталей и узлов в процессе модернизации энергонасыщенной техники при заинтересованном участии предприятий-изготовителей; повышение роли лизинга при решении проблемы реализации продукции рынка подержанной техники на региональном уровне; принятие ремонтно-техническим предприятием на себя полной ответственности за соответствие отремонтированной техники нормативной документации, комплектности, техническому уровню и ее сервисное сопровождение в гарантийный и послегарантийный периоды; принятие ремонтно-техническим предприятием на себя финансовой ответственности за нанесенный сельскохозяйственному товаропроизводителю экономический ущерб, вследствие возникновения отказов по вине РТП в гарантийный период; преемственность, эффективность использования и развитие производственно-технологического потенциала ранее созданных ремонтно-технических предприятий; широкое привлечение заводов-изготовителей и совместных предприятий по восстановлению подержанной техники.

### **Список литературы**

1. Черноиванов В.И. Мониторинг технического уровня и надежности основных видов сельскохозяйственной техники [Текст] / [В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, Н. В. Краснощеков, В. Ф. Федоренко, Э. В. Жалнин, Д. С. Буклагин]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 108 с.
2. Черноиванов В. И. и др. О формировании вторичного рынка сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 10. – С. 10–12.

3. Кормаков Л. Ф. Рынок подержанной техники в представлении потенциальных участников / Л. Ф. Кормаков, С. Г. Стопалов // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2003. – № 2. – С. 45–49.

*У статті наведені основні принципи і мотивація створення і формування вторинного ринку уживаної техніки в агропромисловому комплексі.*

***Мотивація, оновлення, респонденти, модернізація, стара техніка, моніторинг, держпідтримка, ПОРТАЛ, інформація.***

*The paper presents the basic principles and motivation for the creation and formation of the secondary market for used equipment in agroindustrial complex.*

***Motivation, update, respondents, modernization, second-hand machinery, monitoring, state support, PORTAL, information.***

УДК 631.333

## **ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОЧОГО ОРГАНА РОЗКИДАЧА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ**

***А. С. Кобець, доктор наук з державного управління  
М. М. Науменко, Н. О. Пономаренко, кандидати технічних наук  
Дніпропетровський державний аграрно-економічний  
університет***

*Розроблено наукові основи обґрунтування технологічних параметрів машин для внесення мінеральних добрив відцентрового типу. З'ясована одна з можливих причин нерівномірності розсівання добрив розкидачами відцентрового типу. Виведені спрощені для інженерного застосування формули, що дають можливість обґрунтувати конструкцію дискового розкидача добрив, який гарантовано покращує розсівання. Створено технічні засоби, які впроваджені в серійне виробництво.*

***Внесення добрив, мінеральні добрива, якість розподілення, продуктивність машин, параметри розкидачів, режими роботи.***

**Постановка проблеми.** Нерівномірність розподілу поживних речовин по поверхні поля впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Розвиток машин для внесення добрив сприятливий,

© А. С. Кобець, М. М. Науменко, Н. О. Пономаренко, 2015

у першу чергу, в напрямку підвищення ефективності застосування добрив шляхом поліпшення якості їх розподілу по поверхні ґрунту. Понад 90 % сучасних машин для внесення добрив обладнують відцентровими розсіювальними робочими органами, які успішно вносять гранульовані та дрібнокристалічні добрива і хіммеліоранти. Машини для внесення мінеральних добрив повинні досить точно (рівномірно) їх вносити. На сьогодні деякі параметри внесення є великі, так нерівномірність по ширині захвату у машин вітчизняного виробництва досягає 60-80%, що призводить до зниження ефективності добрив. Таким чином, обґрунтування конструкції та параметрів відцентрового робочого органу машини для внесення мінеральних добрив є актуальною задачею [3-5].

**Мета досліджень:** підвищення рівномірності внесення мінеральних добрив шляхом диференційної їх подачі на лопатки диска розкидача.

**Аналіз останніх досліджень.** По праву засновником теорії розкидачів відцентрового типу визнано П. М. Василенко. У подальшому теоретичні дослідження проводили В. В. Адамчук, Е. В. Козловський, М. Г. Догоновський, М. К. Штуков, Р. М. Гіліс, В. Ф. Ярошенко, С. І. Назаров. Серед останніх фундаментальних аналітичних досліджень привертають увагу роботи В. В. Адамчука, В. М. Булгакова, П. М. Заїки, С. Ф. Пилипаки.

Вагомий внесок у науку з розробки та впровадження розкидачів мінеральних добрив відцентрового типу зробили вчені С. І. Волосников, С. Ф. Бабарика, В. М. Дядя, Л. І. Летковський та ін.

**Результати досліджень.** Як показав аналіз процесу розсіювання добрив [1, 8-10], розкидачі відцентрового типу можуть забезпечувати більш щільне засівання по краях смуги захвату. Для покращення рівномірності запропонована конструктивна схема (рис. 1), що забезпечує різні початкові умови вильоту гранул з кожного з трьох ребер, розміщених на чотирьох лопатках диска.

У відповідності до прийнятої конструкції диска схема розсіювання передбачає, що ширина оброблюваної ділянки, на яку вноситься добриво, розбивається на три частини. Кожне ребро на лопаті повинно вносити добрива на відведену йому територію. Для того щоб це відбувалося необхідно визначити довжину кожного ребра, а також положення його на лопаті. Будемо вважати, що мета буде досягнута, якщо гранули на середньому ребрі набуватимуть швидкість вильоту достатня для засівання ділянки захвату шириною  $2/3B$ , а на короткому ребрі –  $1/3B$ . Для визначення швидкості вильоту туків з ребра, що починається на довільній відстані  $a$  від центра диска використовується теорема додавання швидкостей.

$$\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_e, \quad (1)$$



де:  $\bar{V}_r$  – відносна швидкість, вздовж направляючого ребра;  $\bar{V}_e$  – переносна швидкість, яка для вилітаючої з диска туки визначається за відомої кутової швидкості диска  $\omega$  і довжини ребра  $l$  як:

$$\bar{V}_e = \omega \cdot \sqrt{l^2 \cos^2 \alpha + a^2}.$$

Відносна швидкість може бути знайденою за теоремою про зміну кінетичної енергії у відносному русі з формули [6]:

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = A(F_e) + A(F_{\text{Тл}}) + A(F_{\text{Тр}}) + A(P), \quad (2)$$

де:  $A(F_e)$  – робота переносної сили інерції  $F_e$  на переміщенні вздовж ребра;  $A(F_{\text{Тл}})$  – робота сили тертя, яка виникає на поверхні лопаті в результаті дії сили  $F_e$  та ваги туки  $P$ ;  $A(F_{\text{Тр}})$  – робота сили тертя, яка виникає на поверхні вертикального ребра від сили інерції Коріоліса  $F_c$  та переносної сили  $F_e$ ;  $A(P)$  – робота сили ваги;  $V_0$  – початкова відносна швидкість.

Робота переносної сили інерції на переміщенні  $l$  визначається як:

$$A(F_e^{\text{іН}}) = \frac{1}{2} m \omega^2 (R_k^2 - a^2). \quad (3)$$

Сила тертя на поверхні лопаті  $F_{\text{Тл}}$  визначається через нормальну реакцію  $N_1$ , яка обумовлена вагою туки  $P$  і переносною силою інерції  $F_e^{\text{іН}}$ , тобто:

$$N_1 = P \cos \alpha + F_e^{\text{іН}} \sin \psi \sin \alpha.$$

Тоді  $F_{\text{Тл}} = f \left( mg \cos \alpha + m \omega^2 r \cdot \frac{x}{r} \cos \alpha \sin \alpha \right) = fm(g \cos \alpha + \omega^2 x \cos \alpha \sin \alpha)$ , де:  $f$  – коефіцієнт тертя.

Робота сили тертя на поверхні лопаті  $A(F_{\text{Тл}})$  визначається як:

$$A(F_{\text{Тл}}) = -fmg \sqrt{R_k^2 - a^2} - fm \omega^2 \cdot \frac{1}{2} (R_k^2 - a^2) \sin \alpha / \cos \alpha. \quad (4)$$

Сила тертя на поверхні ребра визначається визначається як:

$$F_{\text{Тр}} = f(2m\omega V_r \cos \alpha - m\omega^2 a). \quad (5)$$

Робота цієї сили визначається як:

$$A(F_{\text{Тр}}) = - \int_0^l 2f m \omega V_r \cos \alpha dx + \int_0^l f m \omega^2 a dx. \quad (6)$$

Приймаючи, що початкова відносна швидкість  $V_0 = \omega a \cos \alpha$ , для  $A(F_{\text{Тр}})$  отримаємо:

$$A(F_{\text{Тр}}) = -f m \omega (\omega a \cos \alpha + V) \sqrt{R_k^2 - a^2} + f m \omega^2 a \sqrt{R_k^2 - a^2} / \cos \alpha. \quad (7)$$

Робота сили ваги  $P$  визначається як:

$$A(P) = -mgl_k \sin \alpha. \quad (8)$$

Підставляючи вирази (3), (4), (7), (8) в формулу (2) отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = & \frac{1}{2} m \omega^2 (R_k^2 - a^2) - fmg \sqrt{R_k^2 - a^2} - \\ & - f m \omega^2 \cdot \frac{1}{2} (R_k^2 - a^2) \sin \alpha / \cos \alpha - f m \omega (\omega a \cos \alpha + V) \sqrt{R_k^2 - a^2} + \\ & + f m \omega^2 a \sqrt{R_k^2 - a^2} / \cos \alpha - mgl_k \sin \alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

Якщо в останній вираз підставити відстань від центра до першого ребра ( $a = a_1$ ), то можна отримати:

$$\begin{aligned} & \frac{mV^2}{2} - \frac{m}{2} \omega^2 a_1^2 \cos^2 \alpha = \\ & = \frac{1}{2} m \omega^2 (R_k^2 - a_1^2) - fmg \sqrt{R_k^2 - a_1^2} - \frac{1}{2} fm \omega^2 \\ & \cdot (R_k^2 - a_1^2) \sin \alpha / \cos \alpha - \\ & - fm \omega^2 a_1 \cos \alpha \sqrt{R_k^2 - a_1^2} - fmV \sqrt{R_k^2 - a_1^2} + \frac{fm \omega^2 a_1 \sqrt{R_k^2 - a_1^2}}{\cos \alpha} - \\ & - mgl_k \sin \alpha. \end{aligned}$$

Звідки для відносної швидкості на вильоті з довгого ребра можна отримати:

$$V = -c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}, \quad (10)$$

де:  $c_1 = f\omega \sqrt{R_k^2 - a_1^2}$

$$\begin{aligned} c_2 = & \omega^2 a_1 \cos^2 \alpha (a_1 \cos \alpha - 2f \sqrt{R_k^2 - a_1^2} + \omega^2 (R_k^2 - a_1^2)) (1 - f \sin \alpha / \cos \alpha) - \\ & - 2fg \sqrt{R_k^2 - a_1^2} + 2f\omega^2 a_1 \sqrt{R_k^2 - a_1^2} / \cos \alpha - 2gl_k \sin \alpha. \end{aligned}$$

Тоді визначення абсолютної швидкості наведено:

$$V_a = \sqrt{(V_a \cos \alpha_0)^2 + (V_r \sin \alpha)^2}, \quad (11)$$

де:  $\alpha_0$  – кут вильоту туки;  $V_a \cos \alpha_0$  – проекція швидкості вильоту на горизонтальну площину;  $V_r \sin \alpha$  – проекція швидкості вильоту на вертикальну площину.

Тоді для кута вильоту можна отримати:

$$\alpha_0 = \arccos \sqrt{(V_r \cos \alpha)^2 + V_e^2 + 2V_e V_r \cos \alpha \cos \gamma} / V_a. \quad (12)$$

Наведені формули дозволяють обґрунтувати деякі конструкційні характеристики розсіювача. Розрахунки проведено за такими вихідними даними: кутова швидкість диска  $\omega=57,6$  рад/с; радіус диска  $R=0,3$  м; кут нахилу лопаті  $\alpha=0,5236$  рад; коефіцієнт тертя туки по лопаті  $f=0,35$ .

Аналіз можливих варіантів конструкцій відцентрового робочого органа для внесення мінеральних добрив дозволив прийняти схему розкидача, конструкція якого передбачає формування розташування потоків гранул при завантажуванні. Для виконання поставленої задачі запропонована схема робочого органа – рис. 1.

Розкидач складається з диска 17, чотирьох лопатей (секторів 11–14), кожна з яких утворюється двома лопатками у яких бічні стінки утворюються вертикальними ребрами, а днища нахилені під кутами  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  до горизонтальної поверхні диска. Кожне ребро (1–3) перпендикулярне до спільної лінії перетину днищ лопаток і площини диска (на рис. 1 напрямок кожного ребра позначений кутами  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  відповідно). У центрі диска знаходиться живильник 4 конічної форми,

внутрішній простір якого розбито на окремі сектори радіальними вертикальними пластинами (6–10). Кожна пластина в нижній частині виходить за межі живильника на висоту ребра і нижнім краєм приєднується до горизонтальної центральної частини диска. Бічний край виступаючої з живильника (конічної форми) частини з'єднується з криволінійною ділянкою ребра 2, розміщеною на горизонтальній площині диска.

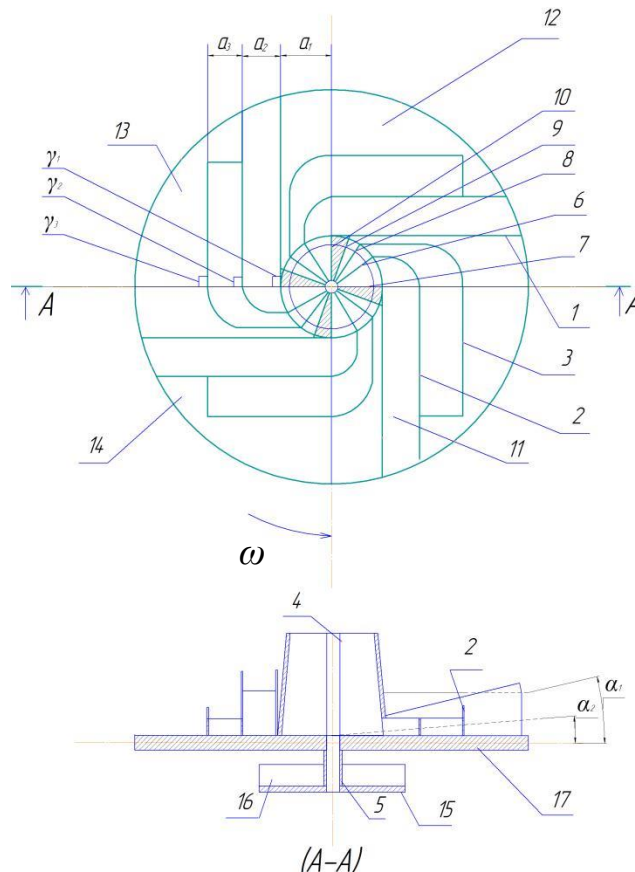


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема відцентрового робочого органу для внесення мінеральних добрив.

У такий самий спосіб ребро 3 з'єднується з виступаючим бічним краєм пластини 8, а ребро 1 – з 9. У кожній чверті відцентрового робочого органу, де знаходиться робоча лопать, живильник розбивається пластинами на чотири сектори. Три з них робочі, через два туки падають на верхній диск, причому на другий сектор припадає 53,6 % об'єму добрив від першого, а на останній – третій – найменший 11,24 % того ж самого об'єму. З цього сектора добрива потрапляють на диск 15, що розташований нижче на 60 мм від верхнього, що забезпечується втулкою 5, на якому розміщені перпендикулярно одне одному напрямні ребра 16. Один зі секторів живильника закритий зверху (рис. 1, заштрихований). Площі секторів призначаються пропорційними витраті матеріалу, що припадає на кожне

ребро. Матеріал, потрапляючи до секторів, сходить на горизонтальну поверхню диска, з якої, рухаючись між криволінійними ділянками ребер, потрапляє на нахилені лопатки. На рис. 2 наведено схему, що якісно характеризує розподілення гранул за одночасного розсівання трьома ребрами.

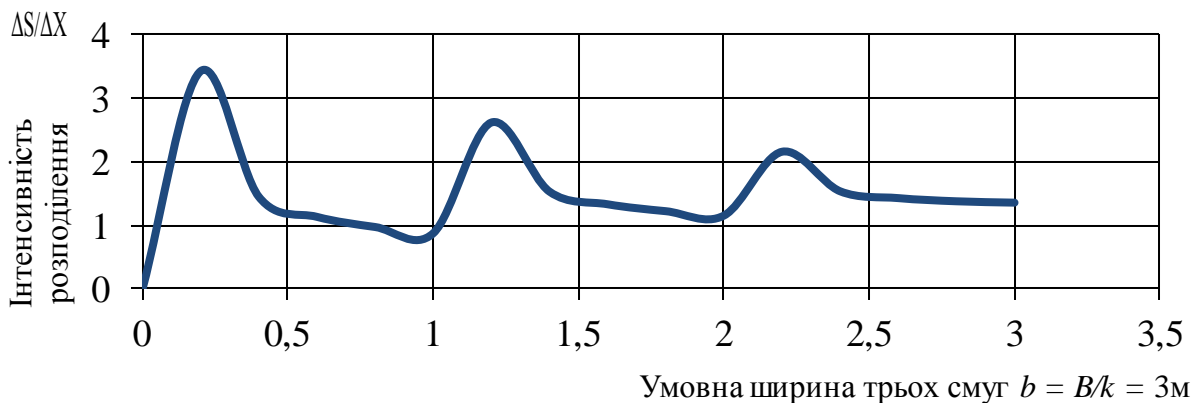


Рис. 2. Розподілення трьох потоків.

Як видно, площі обмежені кривою інтенсивності розподілення, на кожній з трьох одиниць ширини смуги захвату приблизно рівні, тобто на кожну смугу випадає приблизно одна і та ж сама кількість гранул. Відносно нерівномірності розподілення гранул у межах однієї смуги можна зауважити, що наведена картина розподілення ідеалізована і передбачає: усі гранули «залітають», при роботі одного з ребер на одну і ту ж саму відстань. Реальність полягає в тому, що гранули не однакові за формою і об'ємом. Вони мають різні аеродинамічні характеристики, що забезпечує різну дальність польоту і покращує рівномірність розподілення, яка може бути перевірена дослідним шляхом.

### Висновки

У роботі вирішена науково-прикладна задача підвищення ефективності механізованого внесення твердих мінеральних добрив шляхом поліпшення якості їх розподілення по поверхні ґрунту і підвищення продуктивності машин.

1. Запропонована конструкція розкидача, який може реалізувати більш рівномірне розсіювання за умови забезпечення окремого живлення кожного з трьох вилітаючих з диска потоків гранул.

2. Виведені достатньо прості для інженерного застосування формули, що дають можливість обґрунтувати конструкцію дискового розсіювача добрив, який гарантовано покращує розсіювання.

3. Отримані формули дозволяють визначати абсолютну швидкість вильоту туків з диска і кут вильоту, які необхідні для визначення ширини захвату розсіювача.

## Список літератури

1. Кобець А. С. Обґрунтування конструкції чотирилопатевого відцентрового розкидача мінеральних добрив / А. С. Кобець, М. М. Науменко, Н. О. Пономаренко // Вісник Дніпропетровського держагроуніверситету. – 2013. – С. 65–67.
2. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: Изд-во Украинской академии сельскохозяйственных наук, 1960. – 283 с.
3. Адамчук В. В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хімеліорантів: Автореф. дис. док. техн. наук: 05.05.11. – Національний аграрний університет, Київ, 2006. – 45 с.
4. Сметнев С. Д. Состояние и перспектива механизации применения минеральных удобрений / С. Д. Сметнев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – №5. – 189 с.
5. Кравчук В. І. Сучасні тенденції розвитку конструкції с/г техніки / В. І. Кравчук, М. І. Грицишинна, С. М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
6. Яблонський А. А. Теоретическая механика / А. А. Яблонський. – М., 1967. – Т. 1. Статика и кинематика. – 512 с.
7. Фихтенгольц Е. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Е. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 800 с.
8. Mitchell D. Uneven applikation leads to clacre gran losses / D. Mitchell // Power Farmg. – 1974. – № 5. – S. 8–9.
9. Thimon J. Uneven distributon can no longer be baken for granted / J. Thimon // Fertilirer Solution. – 1974. – № 18. – S. 6.
10. Wiemann K. Richtiy Verteiet wirkt Dunger besser / K. Wiemann // Ubersicht. – 1973. – G. 24. – № 10. – S. 765–769.

*Разработаны научные основы обоснования технологических параметров машин для внесения минеральных удобрений центробежного типа. Выяснена одна из возможных причин неравномерности рассева удобрений разбрасывателями центробежного типа. Выведены упрощенные для инженерного применения формулы, которые дают возможность обосновывать конструкцию дискового разбрасывателя удобрений, который гарантированно улучшает рассеивание. Сделаны технические средства, которые внедрены в серийное производство.*

**Внесение удобрений, минеральные удобрения, качество распределения, производительность машин, параметры разбрасывателей, режимы работы.**

*The scientific bases of study of technological parameters of machines for mineral fertilizers centrifugal type. Found out one of the possible causes of uneven sieving fertilizer spreaders centrifugal type. We derive a simplified formula for the engineering application, which allow to justify the construction of disc fertilizer spreader that is guaranteed to improve dispersion. Made technical means, which are introduced into production.*

***Fertilizer, fertilizers, quality allocation, performance cars, spreaders parameters, modes of operation.***

УДК 658.51:631.3

**ОБ'ЄКТИВНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ АДАПТИВНИХ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ РІЛЬНИЦТВА**

***О. В. Сидорчук, доктор технічних наук,  
член-кореспондент НААН***

***Національний науковий центр «Інститут механізації та елек-  
трифікації сільського господарства»***

***П. М. Луб, А. О. Шарibuра, кандидати технічних наук***

***Львівський національний аграрний університет***

***В. В. Грабовець, кандидат технічних наук***

***Луцький національний технічний університет***

*Означено предметні та агрометеорологічні причини розвитку адаптивних технологічних систем із обробітку ґрунту та сівби культур. Розкрито концепцію підвищення ефективності цих процесів на підставі адаптивного виконання польових робіт. Означено науково-методичні завдання для реалізації цієї концепції на практиці.*

***Ґрунт, культура, умови, мінливість, роботи, адаптування, комплекс машин, ефективність.***

**Постановка проблеми.** Розвиток ринкових відносин між суб'єктами агропромислового комплексу України об'єктивно формує потребу постійного пошуку можливостей збільшення прибутковості відповідних галузей народного господарства та, зокрема, галузі рослинництва. Прибутковість рілньничих сільськогосподарських підприємств (СГП) значним чином залежить від стратегії їх технічної політики щодо використання тих чи інших технологій механізованого вирощування сільськогосподарських культур, парку тракторів та відповідного шлейфу спеціалізованих машин, вилучення із використання спрацьованої техніки та придбання нової тощо. Вирішення цих завдань тісно пов'язане із оціненням ефективності відповідних рішень щодо адаптивного виконання множин технологічних операцій, узгодження параметрів комплексів машин із характеристиками виробничої програми, а також тактики оновлення парку енергомашин, його

© О. В. Сидорчук, П. М. Луб, А. О. Шарibuра, В. В. Грабовець, 2015

структури та резерву потужності тощо. Однак, об'єктивне оцінення цих рішень потребує застосування специфічних методів дослідження, котрі давали б змогу системно враховувати особливості функціонування відповідних комплексів машин та, зокрема, мінливої і некерованої дії предметних (агрофонових) та агрометеорологічних умов весняного й літньо-осіннього періодів польових робіт [2] на ефективність відповідних комплексів машин.

**Аналіз останніх досліджень.** Застосування відомих методів та моделей обґрунтування параметрів комплексів сільськогосподарських машин (СГП) [7] не дає змоги врахувати мінливість предметної та агрометеорологічної складових ґрунтообробно-посівного процесу. Це зумовлене тим, що вони ґрунтуються на нормативах потреб у техніці і дають змогу встановити "базовий" комплекс машин для заданих агротехнічних термінів робіт [3]. Їх застосування для дослідження адаптивних технологічних систем [9], на жаль, не дає змоги об'єктивно оцінити комплекс машин, який здійснює перетворення предмету праці (агрофону поля та насіння культур тощо) стан якого визначає якісні показники цього перетворення та визначає доцільність відповідних робіт у розрізі обмеженого проміжку часу.

**Мета досліджень** – розкрити науково-прикладну проблему розвитку адаптивних технологічних систем рільництва та методологію дослідження показників ефективності адаптивних комплексів ґрунтообробно-посівних машин.

**Результати досліджень.** Особливістю процесів механізованого обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур є те, що структура та темпи виконання множини технологічних операцій щодо якісного перетворення предмету праці (агрофону поля та насіння сільськогосподарських культур) необхідно узгоджувати із некерованими природними (біологічними, фізичними, хімічними тощо) процесами [2]. Останні процеси, у розрізі часу, також здійснюють об'єктивне перетворення якісного стану агрофону поля та характеризуються стохастичністю. Відповідно до цього, системне узгодження у часі цих керованих (технологічних) та некерованих (об'єктивних) процесів дає змогу задовольнити вимоги сільськогосподарських культур до початкових умов їх росту та розвитку, а відтак забезпечити передумови для отримання високих врожаїв [4, 5].

Виконання цих завдань на практиці потребує адаптивного (до предметних та агрометеорологічних умов) виконання польових робіт, а відтак застосування адаптивного технологічного комплексу ґрунтообробно-посівних машин (ТКГП). Окрім того, використання машинних агрегатів такого комплексу машин потребує поточного аналізу стану предметної та агрометеорологічної складових, а також оцінення тенденцій їх зміни у локальних умовах того чи іншого сезо-

ну польових робіт. Для цього необхідно розробляти та впроваджувати у практику СГП спеціалізовані автоматизовані системи супроводу організаційно-технологічних рішень, котрі на підставі поточного моніторингу та аналізу некерованих і частково керованих складових давали б змогу здійснювати статистичне імітаційне моделювання відповідних механізованих процесів, а відтак виконувати їх оцінення та пошук раціональних дій щодо підвищення ефективності. Така концепція підвищення ефективності ґрунтообробно-посівного процесу потребує розбудови цілої системи знань, обладнання та навиків. Однак її реалізація дає змогу забезпечити якість та своєчасність відповідних робіт у механізованих процесах вирощування сільськогосподарських культур, а також зробити ці процеси менш витратними (енергощадними). Це здійснюється за рахунок виконання технологічно необхідної множини робіт, які формуються локально – у відповідності до якісного стану предметної та тенденцій агрометеорологічної складових окремого календарного року.

Розглянемо підстави цих положень більш докладно. Загальновідомо, що вагомою передумовою ефективності процесів механізованого вирощування сільськогосподарських культур є своєчасне забезпечення вимог рослин щодо якісного стану ґрунтових умов для їх проростання та появи дружніх сходів [5]. Задоволення цих вимог досягається внаслідок впливу на його структуру, щільність, забур'яненість, вологість тощо робочих органів відповідних машинних агрегатів [1], а також внаслідок перебігу згаданих природних процесів темпи яких зумовлені інтенсивністю розвитку агрометеорологічних умов окремого сезону. Виходячи із цього, для забезпечення ефективності ґрунтообробно-посівних процесів СГП повинне здійснювати моніторинг стану агрофону полів, агрометеорологічних умов та здійснювати прогноз їх наступного розвитку з метою прийняття раціональних рішень щодо механізованих заходів  $\{d\}$  перетворення ґрунту  $\{p\}$  із його початкового якісного стану у такий, що забезпечуватиме продуктивний розвиток сільськогосподарських культур (рис.).

Початковий стан агрофону окремого поля зумовлений культурою попередником та, зокрема, технологією механізованого вирощування й збирання його врожаю. Кінцевий стан агрофону поля слід розглядати через призму вирощуваної культури (озимої чи ярої) та, зокрема, таких показників як наявність доступної вологи, рівномірність та глибина розташування насіння, пошарова щільність ґрунту, його температура, тощо. Окрім того, важливим показником оцінення ефективності ґрунтообробно-посівного процесу та, зокрема комплексу відповідних машин, є забезпечення своєчасності сівби культур. Сутність цього показника впливає із об'єктивної потреби узгодження біологічних процесів росту та розвитку культурної рослини із не-



керуванним календарним "розвитком" агрометеорологічних умов відповідного періоду року за якого рослина забезпечується сприятливими умовами для досягнення максимального біологічного врожаю.

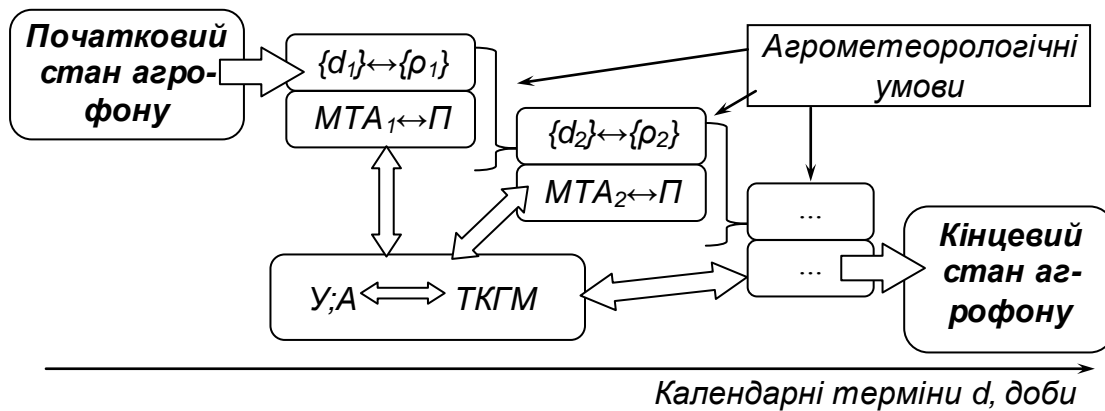


Рис. Головні складові системи адаптивного виконання ґрунтообробно-посівних робіт: У, А – управлінська складова і відповідними автоматизованими системами прийняття рішень; МТА – машинно-тракторні агрегати; П – поле із своїм агрофоном.

Системно-чинниковий розгляд поняття ефективності ( $E$ ) процесів механізованої підготовки ґрунту та сівби сільськогосподарських культур дав змогу виокремити множину основних груп чинників, що її зумовлюють: 1) предметні ( $\Pi$ ); 2) виробничі ( $B$ ); 3) агрометеорологічні ( $A$ ); 4) соціальні ( $C$ ); 5) технологічні ( $T_{\text{л}}$ ); 6) технічні ( $T_{\text{н}}$ ); 7) організаційно-масштабні ( $O$ ); 8) управлінські ( $Y$ ); 9) інформаційні ( $I$ ); 10) ресурсні ( $P_e$ ):

$$E = f(\Pi, B, A, C, T_{\text{л}}, T_{\text{н}}, O, Y, I, P_e). \quad (1)$$

Не заглиблюючись у сутність кожного із цих чинників зазначимо, що вони характеризуються керованістю, частковою керованістю та некерованістю. Відповідно до цього, на особливу увагу заслуговують чинники, що є некерованими (агрометеорологічні) та частково керованими (предметні та виробничі), системна сутність яких, власне, й формує підґрунтя для розгляду науково-прикладної проблеми розвитку адаптивних технологічних систем рільництва.

Щодо сутності цієї науково-прикладної проблеми для процесів механізованого обробітку ґрунту та сівби культур то вона зумовлена потребою своєчасного забезпечення відповідного якісного стану агрофону поля та мінімальних технологічних витрат на виконання множини робіт. Тому, виходячи із предметних особливостей формування ефективності ґрунтообробно-посівних процесів в основі методології розв'язку цього завдання повинні лежати системно-зумовлені тенденції якісного перетворення предмету праці (агрофону поля та насіння культур), що відбуваються впродовж обмеженого агромете-

орологічно зумовленого фонду часу, під впливом робочих органів відповідних машинних агрегатів та згадуваних уже природних процесів. Для врахування мінливого впливу агрометеорологічних умов на стан ґрунту поля, можливість функціонування ґрунтообробно-посівних машин, а отже стохастичність агрометеорологічно дозволеного фонду часу ( $t_{пз}$ ) на виконання відповідних робіт необхідно розробити специфічні методи та моделі щодо оцінення показників ефективності функціонування ТКГП.

Виходячи із вищезазначеного, умовою ефективності ( $E$ ) адаптивного ТКГП у розрізі років його функціонування є забезпечення відповідності між технологічно потрібним фондом часу ( $t_{mn}$ ) та  $t_{пз}$  для предметних й агрометеорологічних умов окремого року за яких задовольнятимуться першочергові вимоги рослин до ґрунтово-кліматичних умов їх проростання та появи сходів, а також мінімуму сукупних витрат механізованого процесу. У неявному вигляді ця функціональна залежність матиме вигляд:

$$E = f(t_{mn} \Leftrightarrow t_{пз}, \sum B), \quad (2)$$

де:  $\sum B$  – сукупні витрати (коштів чи енергії та технологічних втрат через несвоєчасність робіт) на виконання ґрунтообробно-посівних робіт.

Таким чином, для підвищення ефективності механізованих процесів рільництва на підставі використання адаптивних технологічних систем із обробітку ґрунту та сівби культур СГП повинне володіти відповідним комплексом машин, а також специфічними методами і моделями, які дають змогу враховувати системні особливості впливу предметної та агрометеорологічної складових на перебіг ґрунтообробно-посівного процесу і на цій підставі оцінювати показники ефективності комплексів відповідних машин. Отримання цих показників дає змогу обґрунтовувати раціональні рішення щодо узгодження параметрів цього комплексу із характеристиками виробничої програми СГП за якої забезпечується умова якості та своєчасності робіт, а також мінімальних витрат на їх виконання.

Однак, для розроблення таких методів та моделей необхідно володіти специфічною базою знань щодо стохастичності та тенденцій розвитку агрометеорологічних умов, їх впливу на стан ґрунту та розвиток культурних рослин. Зокрема нами доведено можливість формування такої бази знань на підставі даних метеостанцій та формалізації головних закономірностей агрометеорологічних умов згаданих періодів і їх впливу на стан ґрунту, тривалість погожих та непогожих проміжків, тривалості природно зумовленого фонду часу виконання робіт, часу початку сівби і ризик цих показників [8, 10]. Також нами доведено можливість створення адекватних статистичних імі-

таційних моделей що можуть об'єктивно відображати вплив системно-подієвих умов на перебіг робіт із обробітку ґрунту [6]. Тоді на підставі обґрунтованого алгоритму прийняття рішень щодо доцільності виконання тих чи інших технологічних операцій за різних предметних та агрометеорологічних умов і некерованих тенденцій їх впливу  $t_{пз}$  виникає можливість встановити множину інтегрованих функціональних показників ґрунтообробно-посівного процесу. Представлення цих показників у вартісному виразі та встановлення їх закономірностей за різних характеристик виробничої програми СГП, мінливих предметних та агрометеорологічних умов, а також параметрів адаптивних комплексів машин дає змогу відшукати таке їх співвідношення за якого досягатиметься екстремум функції ефективності.

Однак застосування розроблених нами методів та моделей для дослідження ефективності адаптивних технологічних систем потребує ще доопрацювання. Для усунення цієї прогалини необхідно володіти знаннями щодо: 1) впливу умов зимового періоду на початковий стан ґрунту у весняний період; 2) впливу тенденцій зміни агрометеорологічних умов на вологість, щільність, температуру, мікробіологічні процеси та забур'яненість ґрунту; 3) впливу виконання чи невиконання того чи іншого поєднання елементарних технологічних операцій (за допомогою одно- та багатоопераційних машин, мінімальної обробітку, системи no-till тощо) на якісний стан ґрунту та тенденції його зміни внаслідок впливу агрометеорологічних умов, продуктивність росту та розвитку сільськогосподарських культур на початкових фазах їх вегетаційного періоду; 4) сукупного впливу якісного стану ґрунту (на момент сівби) та агрометеорологічних умов на продуктивність росту та розвитку культури; 5) ступеня негативного впливу заморозків на розвиток культур у таких фенологічних фазах як проростання, поява сходів та кущення.

У результаті вирішення цих завдань виникне можливість розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо: 1) адаптивного та енергоощадного виконання множини технологічних операцій із обробітку ґрунту та сівби культур; 2) оцінення ступеня забезпечення якісних вимог культур до ґрунтово-кліматичних умов на початкових фазах їх росту та розвитку; 3) політики формування адаптивних технологічних систем, тенденцій технічного переозброєння СГП і підприємств технологічного сервісу, а також їх розвитку; 4) підвищення ефективності галузі на регіональному, міжрегіональному та державному рівнях; 5) напрямків і тенденцій розвитку галузі вітчизняного машинобудування щодо концепції адаптивних технологічних систем.

### **Висновки**

1. Початковий стан ґрунту та вплив на нього агрометеорологічних умов в розрізі років виконання зазначених робіт є змінні, це

об'єктивно формує різну тривалість природно зумовленого фонду часу на їх виконання та потребу технологічного адаптування.

2. Науково-прикладна проблема розвитку адаптивних технологічних систем рільництва зумовлена потребою врахування об'єктивних тенденцій частково керованого формування якісного стану предметних умов (агрофону поля), забезпечення яких дає змогу гарантувати сприятливі передумови для отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур, а відтак і прибутковості СГП.

3. Адаптивне виконання множини технологічних операцій дає змогу в локальних агрометеорологічних умовах окремого календарного року виконати "мінімальну" технологічно-потрібну множину механізованих робіт та забезпечити: а) необхідний якісний стан предметних умов (агрофону поля із розташованими у ньому насінинами) на момент виникнення сприятливих природних тенденцій для продуктивного росту та розвитку культурної рослини; б) передумови для отримання високих врожаїв; в) мінімальні технологічні витрати СГП.

### Список літератури

1. Бомба М. Я. Наукові і практичні основи обробітку ґрунту : навчальний посібник / М. Я. Бомба, З. М. Томашівський. – Івано-Франківськ: Галичина, – 1993. – 148 с.
2. Грингоф И. И. Агрометеорология / И. И. Грингоф, В. В. Попова, В. Н. Страшный. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 310 с.
3. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф. С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 319 с.
4. Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов онтогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений / Ф. М. Куперман. – 3-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.
5. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В. В. Лихочвор. – Львів: НВФ "Укр. технології", 2002. – 800 с.
6. Луб П. М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства. Автореф. дис...канд. техн. наук.: – Львів, 2006. – 20 с.
7. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.11 „Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / В. І. Пастухов; Харк. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – Х., 2004. – 38 с.
8. Сидорчук О. В. Агрометеорологічні причини адаптивності технологічних систем із удобрення, підготовки ґрунту та сівби культур / О. В. Сидорчук, В. А. Українець, П. М. Луб, В. В. Грабовець // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: ЛНТУ, 2011. – № 21, т. 2. – С. 83–90.
9. Сидорчук О. В. Технологічні вимоги механізованого процесу в рослинництві до темпів ремонту машин / О. В. Сидорчук, М. І. Карпа, В. О. Тимочко, С. А. Федосенко // Підвищення організаційно-технічного рівня ремонтно-відновних процесів в АПК регіону: Пр. ін-ту / Львів с.-г. ін-т. – Львів, 1990. – С. 84–90.

10. Сидорчук О. В. Формалізація умов використання комплексу ґрунтообробних машин / О. В. Сидорчук, П. М. Луб // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2005. – Вип. 89. – С. 109–119.

*Отмечено предметные и агрометеорологические причины развития адаптивных технологических систем обработки почвы и посева культа. Раскрыта концепция повышения эффективности этих процессов на основании адаптивного выполнения полевых работ. Отмечены научно-методические задания для реализации этой концепции на практике.*

**Почва, культура, условия, изменчивость, работы, адаптивное, комплекс машин, эффективность.**

*The subject and agricultural meteorology reasons of the adaptive technological systems development of soil-tillage and sowing are marked. Conception of efficiency increase of these processes on the basis of adaptive implementation of the field works is exposed. The scientifically-methodical tasks of this conception realization in practice are marked.*

**Soil, culture, conditions, changeability, works, adaptations, complex of machines, efficiency.**

УДК 658.51:631.3

## **МЕТОД ВРАХУВАННЯ ОБ'ЄКТИВНИХ ПРИЧИН СТОХАСТИЧНОСТІ ТЕРМІНІВ БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ РОБІТ**

**О. В. Сидорчук, доктор технічних наук,  
член-кореспондент НААН**

**Національний науковий центр «Інститут механізації  
та електрифікації сільського господарства»**

**П. М. Луб, кандидат технічних наук**

**Львівський національний аграрний університет**

**В. С. Спічак, кандидат технічних наук**

**Володимир-Волинський агротехнічний коледж**

**В. Л. Пукас, аспірант**

**Подільський державний аграрно-технічний університет**

*Розкрито методіку врахування впливу стохастичності природно дозволеного фонду часу на функціонування технологічної*

© О. В. Сидорчук, П. М. Луб, В. С. Спічак, В. Л. Пукас, 2015

*системи збирання цукрових буряків у відповідній статистичній імітаційній моделі.*

**Фонд часу, стохастичність, цукрові буряки, технічне оснащення, імітаційне моделювання, ефективність, параметри.**

**Постановка проблеми.** Ефективність технологічних систем (ТС) збирання цукрових буряків (ЗЦБ) значною мірою залежить від узгодженості обсягів робіт із параметрами технічного оснащення, яке функціонує в умовах обмеженого фонду часу на виконання механізованих процесів збирання вирощеного врожаю. Така обмеженість зумовлена біологічними особливостями росту та розвитку цукрових буряків, а також стохастичним впливом агрометеорологічних умов як на вегетацію культури так і на перебіг відповідних механізованих процесів. Відповідно до цього, встановлення статистичних закономірностей функціональних показників ТС ЗЦБ із відповідними параметрами потребує розроблення нових методів та моделей, які б давали змогу врахувати сукупний вплив її складових на системні показники ефективності згаданої ТС.

**Аналіз останніх досліджень** дав змогу встановити, що терміни виконання механізованих рілних процесів відображають на підставі як детермінованих [2, 7] так і стохастичних [5, 8] показників. Як відомо [8], терміни функціонування технологічних систем збирання врожаю сільськогосподарських культур залежать від часу їх досягання та стохастичної дії агрометеорологічних умов. А тому, застосування методів і моделей, що не враховують сукупний вплив зазначених складових не дасть змоги отримати об'єктивні закономірності функціональних показників, а відтак і оцінити ефективність відповідного технічного оснащення ТС ЗЦБ.

**Мета досліджень** – розкрити методику врахування біологічної та агрометеорологічної складових технологічної системи збирання цукрових буряків у її імітаційній моделі для дослідження функціональних показників відповідного технічного оснащення.

**Результати досліджень.** Забезпечення ефективності технічного оснащення ТС ЗЦБ неможливе без врахування предметної складової та, зокрема, біологічних особливостей досягання цукрових буряків, а також впливу агрометеорологічних умов на стан ґрунту поля й можливість виконання відповідних робіт. Загальновідомо, що темпи росту й розвитку коренеплідів цукрових буряків значною мірою зумовлені агрометеорологічними умовами, а їх врожайність залежить від сорту, своєчасності робіт із механізованого вирощування культури, наявності хвороб і шкідників, чинників життєдіяльності тощо. Мінливість агрометеорологічних умов у календарний період досягання культур також є причиною мінливості фонду часу (че-

рез виникнення непогожих проміжків) за який необхідно виконати увесь обсяг робіт із збирання врожаю та запобігти технологічним втратам [6]. Передумовами виникнення цих втрат є те, що приріст маси ( $\Delta m$ ) коренеплодів цукрових буряків та їх цукристості триває ще в осінній період і це може відбуватися до початку заморозків (нижче  $-5^{\circ}\text{C}$ ) [3]. Тоді, надто ранні терміни початку ( $T_{пр}$ ) бурякозбиральних робіт, за яких ще відбувається приріст коренеплодів, зумовлюють порівняно менший збір урожаю та більший ризик біологічних втрат (рис. 1). З іншого боку, надто пізні терміни  $T_{пр}$  підвищують вірогідність технологічних втрат через довготривалість робіт та ураження коренеплодів заморозками.

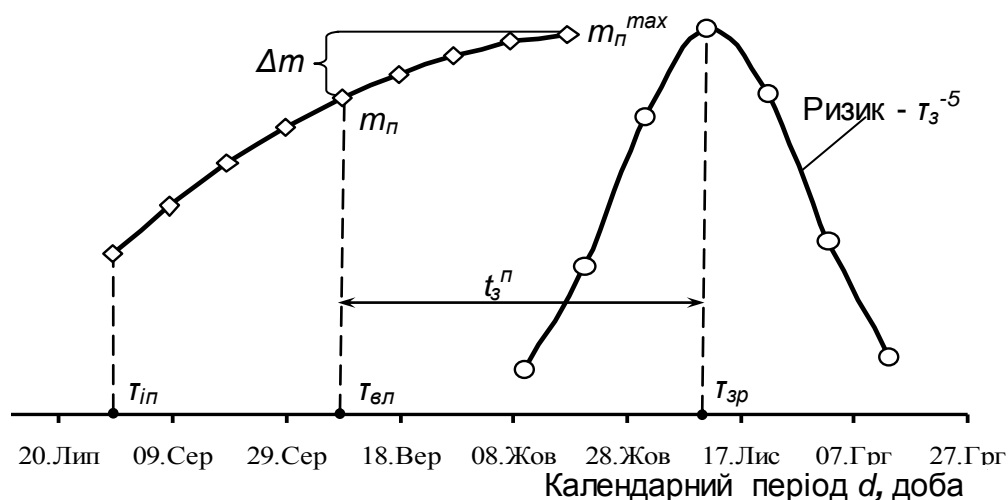


Рис. 1. Графічна інтерпретація методу врахування стохастичності природно зумовлених термінів функціонування ТС ЗЦБ:  $t_c$  – час початку сівби цукрових буряків, доба;  $T_{ин}$  – час початку інтенсивного приросту маси коренеплодів, доба;  $T_{вл}$  – час початку масового в'янення листків культури, доба;  $T_{зр}$  – час завершення бурякозбиральних робіт, доба;  $T_3^{-5}$  – час виникнення заморозку нижче  $-5^{\circ}\text{C}$ ;  $t_3^n$  – природно зумовлений фонд часу на виконання робіт у ТС ЗЦБ, діб;  $m_n$  – поточна маса коренеплодів, г;  $\Delta m$  – приріст маси коренеплодів цукрових буряків, г.

Метою узгодження обсягів бурякозбиральних робіт (виробничої площі культури) із параметрами технічного оснащення ТС ЗЦБ є забезпечення максимального збору вирощеного врожаю цукрових буряків та мінімізації технологічних втрат через їх несвоєчасність. У результаті виконання цих робіт отримують функціональні показники (обсяг зібраного врожаю, обсяг біологічних та технологічних втрат) на підставі яких оцінюють ефективність технічного оснащення ТС ЗЦБ та обґрунтовують його параметри.

Для формування бази знань щодо врахування особливостей сукупного впливу вищезазначених складових ТС ЗЦБ у імітаційній

моделі необхідно формалізувати їх характеристики [1]. Кількісне оцінення характеристик біологічної та агрометеорологічної складових ТС ЗЦБ здійснюється на підставі даних спостережень метеостанції (таблиці спостережень ТСХ-1) [4].

На основі аналізу результатів спостережень Володимир-Волинської метеорологічної станції за фенологічними фазами росту та розвитку цукрових буряків (для 1959-1997 рр.), вологістю верхніх шарів (0-2, 2-10 см) ґрунту (для 1952-1997 рр.) і мінімальною на його поверхні температурою (для 1961-1995 рр.) побудовано статистичні закономірності: 1) приросту маси коренеплодів цукрових буряків (для календарного періоду у межах 29 липня – 19 жовтня) (рис. 2); 2) часу ( $t_3^{-5}$ ) початку заморозку (нижче  $-5^{\circ}\text{C}$ ) (рис. 3); 3) тривалості погожих ( $t_{пн}$ ) та непогожих ( $t_{нп}$ ) проміжків (для календарного періоду з 1 вересня до 20 грудня) (рис. 4).

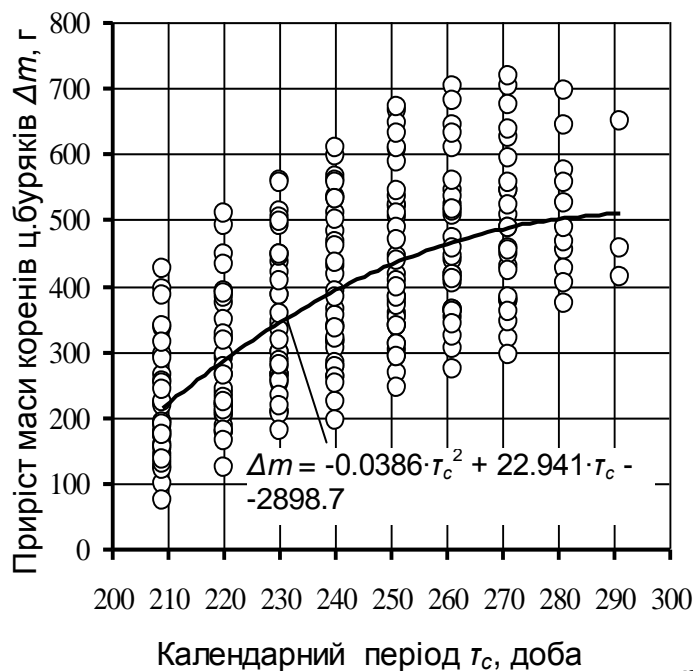


Рис. 2. Закономірність приросту маси коренів цукрових буряків впродовж літньо-осіннього періоду

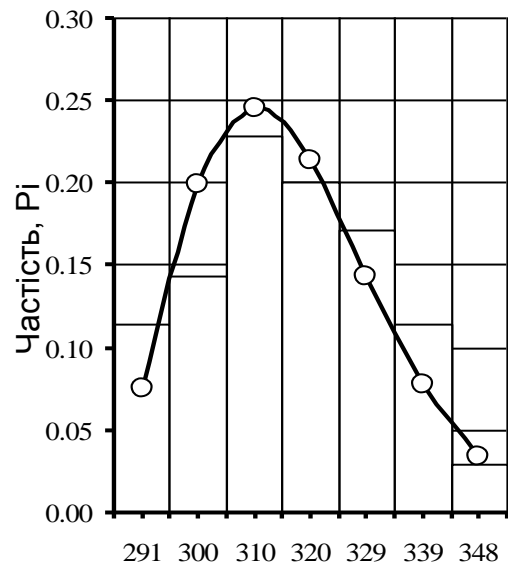


Рис. 3. Гістограма та теоретична крива розподілу часу початку заморозку (нижче  $-5^{\circ}\text{C}$ )

Для чисельного представлення календарних термінів прийнято точку відліку – 01 січня. Віднімаючи цю точку відліку від календарних термінів настання відповідних подій отримано їх чисельне значення. За отриманими показниками сформовано ряди емпіричних даних та здійснено їх опрацювання за методами кореляційно-регресійного аналізу та математичної статистики.

Зокрема, закономірність приросту маси ( $\Delta m$ ) коренів цукрових буряків впродовж літньо-осіннього періоду апроксимовано поліно-



мом 2-о ступеня (рис. 2). Кореляційне відношення становить  $r = 0,639$ .

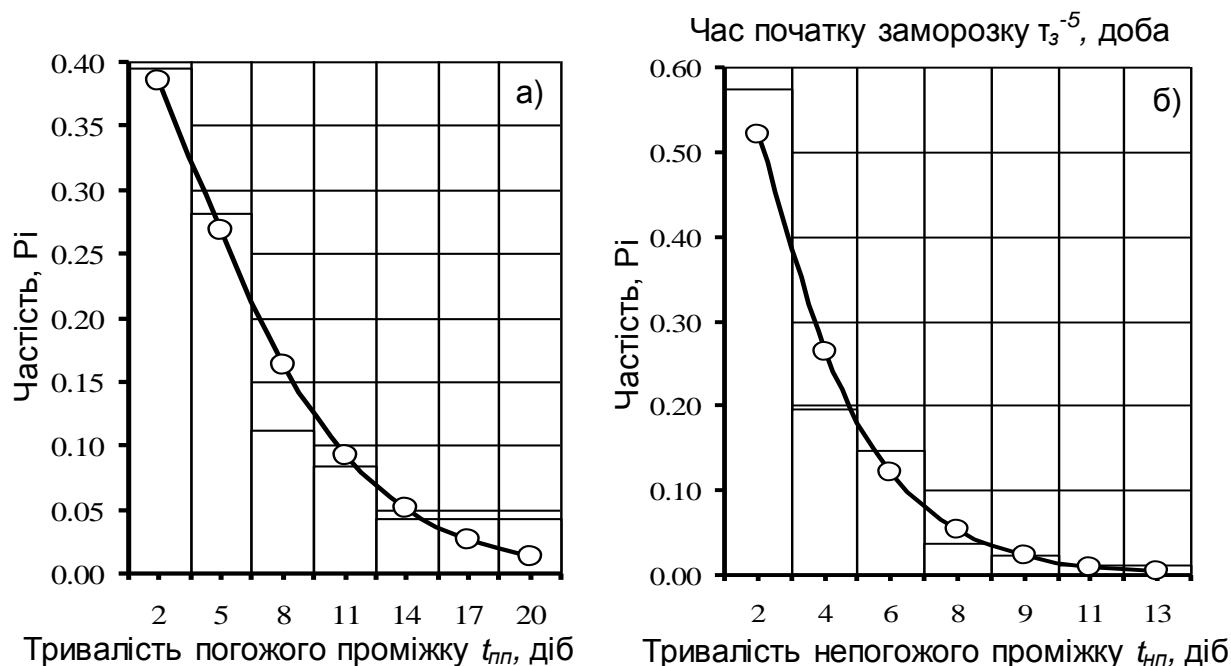


Рис. 4. Гістограма та теоретична крива розподілу тривалості погожих (а) та непогожих (б) проміжків.

Опрацювання емпіричних рядів даних щодо  $t_3^{-5}$ ,  $t_{пп}$  та  $t_{нп}$  за методами математичних статистики дало змогу на підставі критерію  $\chi^2$  Пірсона підтвердити узгодженість цих емпіричних розподілів із теоретичним законом розподілу Вейбулла (рис. 3 та рис. 4):

$$f(y) = \frac{b}{a} \cdot \left( \frac{y - y_{зм}}{a} \right)^{b-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{(y - y_{зм})}{a} \right)^b \right],$$

де:  $a$  – мірило;  $b$  – форма;  $y_{зм}$  – зміщення емпіричного ряду відносно нуля.

Статистичні характеристики та параметри цих розподілів наведено в таблиці.

**Статистичні характеристики агрометеорологічної складової ТС ЗЦБ (Вол.-Волинський район Волинської області).**

Випадкова величина	Закон розподілу	Статистичні характеристики			
		$M(t)$ , діб	$a$	$b$	$y_{зм}$
Тривалість погожих проміжків, діб	Вейбулла	6,412	5,665	1,148	1
Тривалість непогожих проміжків, діб		3,469	2,531	1,08	1
Час початку заморозків на поверхні ґрунту (нижче $-5^{\circ}\text{C}$ ), доба		315,945	33,796	2,033	286

$M(t)$  – математичне сподівання.

Таким чином, встановлено основні закономірності, що характеризують об'єктивні (біологічну та агрометеорологічну) складові ТС ЗЦБ. Їх врахування у статистичній імітаційній моделі відповідної ТС дає змогу відобразити системно зумовлені закономірності формування природно дозволеного фонду часу на виконання відповідних механізованих процесів, а відтак отримати достовірні результати комп'ютерних експериментів щодо функціональних показників ефективності відповідного технічного оснащення ТС ЗЦБ.

Використання таких методів та моделей, а також встановлених за їх допомогою показників, відіграє фундаментальну роль в обґрунтуванні параметрів технічного оснащення, а відтак і розробці науково-обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності ТС ЗЦБ загалом.

**Висновок.** Стохастичність біологічної та агрометеорологічної складових ТС ЗЦБ щорічно зумовлює мінливість термінів виконання механізованих процесів із збирання врожаю цукрових буряків. Такий вплив цих складових зумовлює потребу адаптивного виконання бурякозбиральних робіт у ТС, що безпосередньо позначається на показниках її ефективності. Врахування цих особливостей у статистичній імітаційній моделі ТС ЦЗБ є однією із вагомих підстав об'єктивного дослідження функціональних показників відповідного технічного оснащення. Виконання комп'ютерних експериментів із цією статистичною імітаційною моделлю за різних виробничих площ цукрових буряків дає змогу здійснити пошук функції мети, а відтак обґрунтувати параметри технічного оснащення ТС ЗЦБ.

### Список літератури

1. Анчин В. Л. Моделирование оптимальной сыревой зоны / В. Л. Анчин, Н. Ф. Соловьев, Л. Н. Тимошенко // Сахарная свекла. – 1992. – № 1. – С. 12–16.
2. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф. С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 319 с.
3. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В. В. Лихочвор. – Львів: НВФ “Укр. технології”, 2002. – 800 с.
4. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 11: Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. – Ч. 1.: Основные агрометеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 320 с.
5. Пасечная Л. Д. Методические основы определения технического оснащения уборочных работ: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук : спец. 05.20.01 „Технологии и средства механизации сельского хозяйства” / Л. Д. Пасечная. – Кубан. СХИ. Краснодар, 1988. – 19 с.
6. Сидорчук О. В. Інженерія машинних систем : монографія / О.В. Сидорчук. – К.: ННЦ «ІМЕСГ», 2007. – 263 с.
7. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур / А. Т. Табашников. – М.: Агропромиздат, 1985. – 159 с.
8. Ціп Є. І. Сезонна програма комбайна і ризик у процесі централізованого збирання ранніх зернових : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. на-

ук : спец. 05.13.22 „Управління проектами та програмами” / Є. І. Ціп. – Львів., 2002. – 18 с.

*Раскрыта методика учета стохастичности естественно разрешенного фонда времени на функционирование технологической системы уборки сахарной свеклы в соответствующей статистической имитационной модели.*

**Фонд времени, стохастичность, сахарная свекла, техническая оснастка, имитационное моделирование, эффективность, параметры.**

*The methods of stochastic influence account of the naturally settled fund of functioning time in technological system of sugar beets harvesting in a corresponding statistical simulation model are exposed.*

**Fund of time, stochastic, sugar beets, technical equipment, imitation modeling, efficiency, parameters.**

УДК 631.4+526(075)

## **ОЦІНКА ПРОСТОРОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ РІВНИННОГО ЛІСОСТЕПУ**

**Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук**

**В. М. Стародубцев, доктор сільськогосподарських наук**

*Запропонована оцінка просторової неоднорідності ґрунтового покриття рівнинних територій з типовими чорноземами. Для її обґрунтування використані польові місцевизначені дані з глибини залягання карбонатного горизонту в профілі ґрунтів. Введено поняття «коефіцієнта неоднорідності» стану ґрунтового покриття і запропоновано порядок його розрахунку. Практичне використання «коефіцієнта неоднорідності» є ефективним при впровадженні технологій точного землеробства, при організації багаторічних агрономічних досліджень, а також при коригуванні детальних ґрунтових карт.*

**Мікрозападини, ґрунтовий покрив, чорноземи, карбонатність, коефіцієнт неоднорідності.**

**Постановка проблеми.** У Правобережному Лісостепу України з рівнинним рельєфом унікальну роль у формуванні ландшафтів і

© Л. В. Аніскевич, В. М. Стародубцев, 2015

ґрунтового покриву грають мікрозападини. Їх природа і особливості функціонування досі недостатньо досліджені [1], а значення у формуванні ґрунтового покриву і його сільськогосподарському використанні недооцінене [7-9]. Особливо важливо враховувати роль мікрозападин на полях, де проводяться багаторічні агрономічні дослідження. У ґрунтознавстві переважну увагу приділяють добре видимим в рельєфі мікрозападинам («блюдцям») глибиною до 1-2 метрів. У них досліджують перерозподіл вологи атмосферних опадів, рівень зволоження самих западин і навколишньої рівнинної території, фільтрацію в ґрунтові води. Враховують також ускладнення сільськогосподарського виробництва на таких полях за тривалого перезволоження дна і схилів таких западин, а також через різні властивості ґрунтів на їх морфоелементах [7-9]. Такі мікрозападини широко поширені в лівобережному Лісостепу України, утворюючи складний ґрунтовий покрив з комплексів гідроморфних, солонцюватих, осолоділих і засолених ґрунтів і досить добре вивчені [2, 5]. Проте наші дослідження показують, що мікрозападини поширені і в Правобережному Лісостепу України [6]. Причому тут ґрунти мікрозападин формуються в основному під впливом перезволоження атмосферними опадами, що перерозподіляються по рельєфу, за участю елювіально-ілювіального процесу [4, 7-9]. Але і ґрунти рівнинних територій без чітко видимих мікрозападин, які показані на «класичних» ґрунтових картах як типові чорноземи, виявилися неоднорідними за водним режимом і властивостями. Наші дослідження показали, що на рівнинних ділянках Лісостепу навіть нанорельєф істотно перетворює водний режим ґрунтів, внаслідок чого в таких мікрозападинах і мікропідвищеннях формуються різні ґрунти на класифікаційному рівні виду, роду і навіть іноді – підтипу і типу. Це примушує інакше оцінювати існуючі ґрунтові карти рівнинних територій лісостепової зони і можливості їх використання.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідження проводилися на полях без вираженого мікрорельєфу де тривалий час проводилися агрономічні і ґрунтові досліді в науково-дослідному господарстві «Великоснітинське» НУБіП України у Фастівському районі Київської області (рис. 1).

Для дослідження неоднорідності ґрунтового покриву, визначеного на детальній ґрунтовій карті господарства як «чорноземи типові», ми використовували значення глибини залягання карбонатів як одну з найважливіших діагностичних характеристик при картографуванні ґрунтів Лісостепу, що впливає на багато властивостей ґрунтів, а саме головне – на рівень їх варіабельності [6]. Крім того, глибина залягання карбонатного горизонту є інтегральним показником водного режиму ґрунтів у багаторічному аспекті. Відбір зразків ґрунту на

аналіз відбувався на полі площею 17 га з кроком близько 50 м. Світові координати цих пунктів визначалися за допомогою GPS-приймача. Зразки ґрунту відбиралися ручним буром через 10 см до глибини 200 см. Наявність в ґрунті карбонатів визначалася по скипанню ґрунту від 10 % соляної кислоти. Картографічний аналіз результатів дослідження здійснювався на ПК за допомогою програмного продукту Surfer.

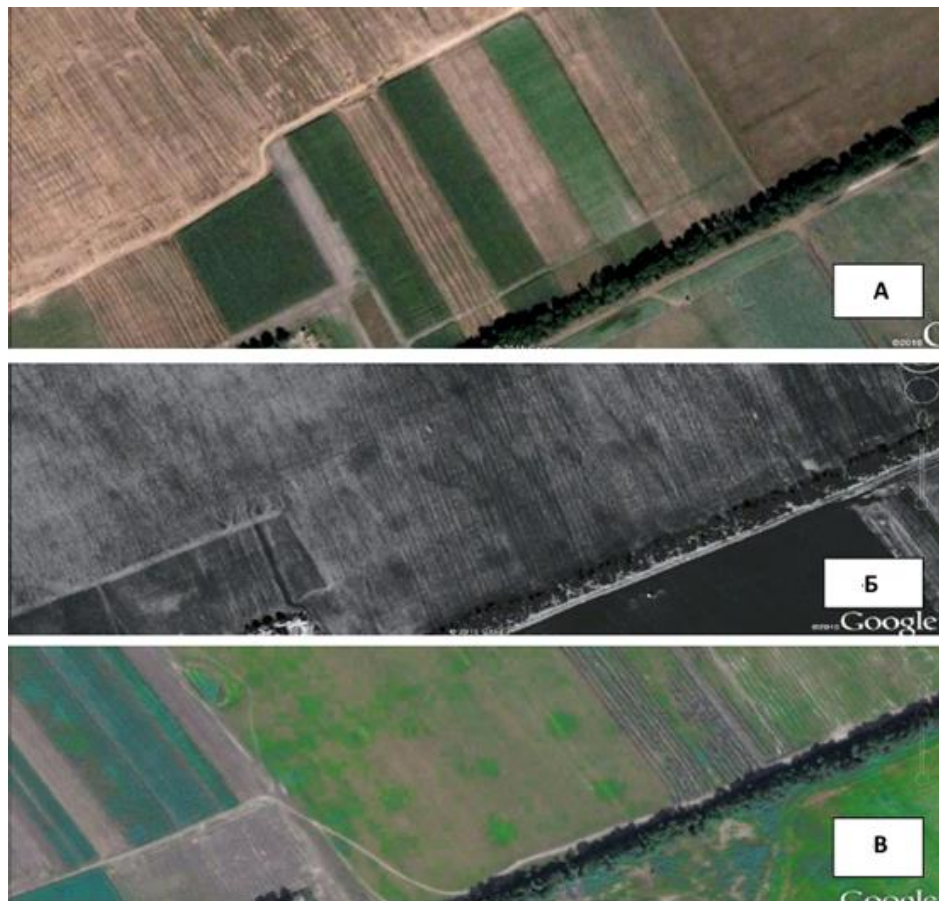


Рис. 1. Космічний знімок (картографічний сервіс Google Earth) дослідного поля у вегетаційний період (А), в передпосівний період (Б) і після збирання врожаю (В).

**Результати досліджень.** Типові чорноземи характеризуються зазвичай глибиною залягання карбонатного горизонту близько 40-60 см Проте на дослідній ділянці визначена нами глибина залягання карбонатів знаходилася в інтервалі від 35 до 200 см, а в двох точках вони не були виявлені і глибше 200 см (наші попередні дослідження показали, що в неглибоких, але добре виражених мікрозападинах карбонати можуть вимиватися навіть до глибин 3-5 м і більше [9]). При цьому важливо мати на увазі, що на цій території перевищення висот окремих елементів нанорельєфа знаходилися в межах 20-30 см, хоча можна припустити, що при підготовці поля до проведен-

ня багаторічних агрономічних дослідів виконано вирівнювання його поверхні. Результати стану ґрунтового покриву відображені у вигляді плану з ізолініями глибини залягання карбонатного горизонту (рис. 2, А) з місцем розташування точок відбору проб ґрунту, а також у вигляді тривимірного зображення (рис. 2, Б) з виділенням ґрунтів згідно з легендою: 1 – чорноземи типові високоскипаючі, 2 – чорноземи типові (модальні або еталонні), 3 – чорноземи типові глибокоскипаючі, 4 – чорноземи вилуговані, 5 – лучно-чорноземні ґрунти, 6 – лучно-чорноземні ґрунти на безкарбонатних лесах.

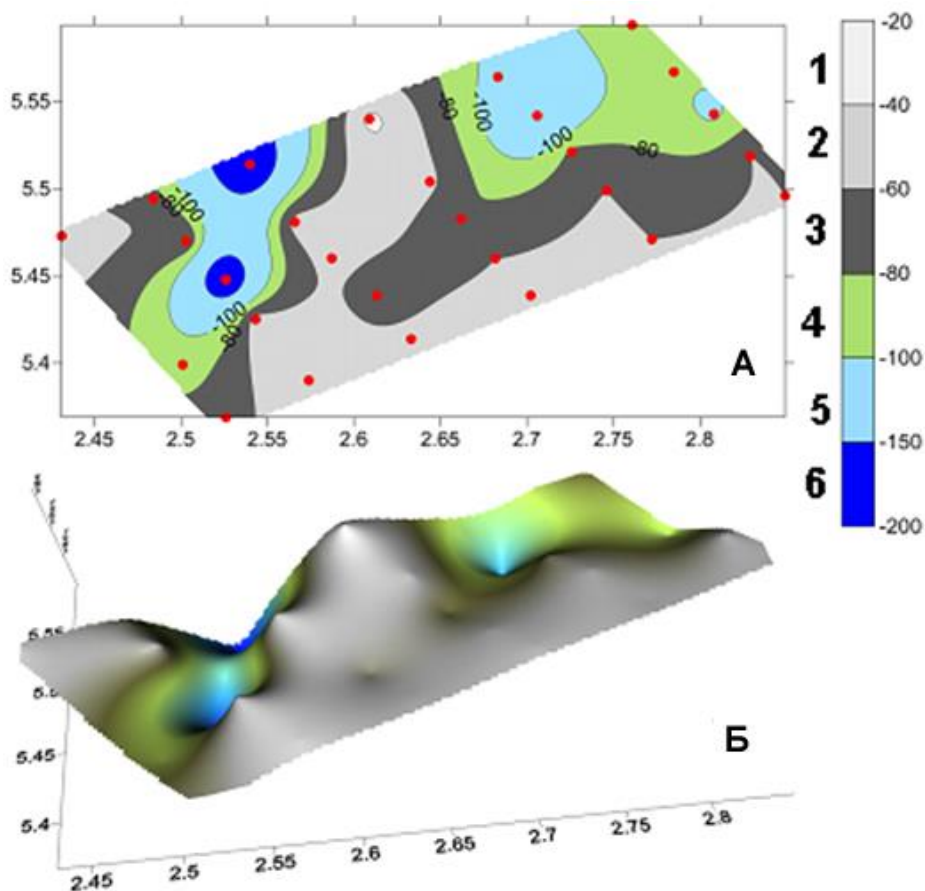


Рис. 2. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки, діагностований за глибиною залягання карбонатного горизонту: А – двомірне зображення, Б – тривимірне зображення.

У такому вигляді картограми дають уявлення про просторову неоднорідність ґрунтового покриву як за цим показником, так і за комплексом властивостей цих ґрунтів. При побудові картограм виконувалась інтерполяція польових даних. Завдання просторової інтерполяції – отримати (з мінімально можливою погрішністю) значення просторової змінної (в даному випадку – глибини залягання карбонатів у ґрунтовому профілі) в довільних точках площі поля на основі обробки і аналізу значень, виміряних в обмеженому числі відібраних

точок. Для оцінки значення змінної в точці, де вона не виміряна, застосовують різні методи просторової інтерполяції. Прийнято розрізняти два основні підходи до інтерполяції: детермінований і геостатистичний. Методи детермінованої інтерполяції апроксимують невідому змінну параметричною функцією, форма якої задається явно (наприклад, поліномом), або неявно (умова мінімальної кривизни). Параметри вибираються так, щоб оптимізувати критерій найкращого наближення в точках вибірки (наприклад, найменші квадрати). Геостатистичні методи (кригінг) використовують статистичні властивості вимірянних даних, оцінюючи просторову автокореляцію і враховуючи її при інтерполяції. Детерміновані методи інтерполяції часто не підходять для побудови картограм агробіологічних властивостей ґрунту на основі польових даних обмеженого числа точок відбору зразків. Наприклад, метод «зворотних відстаней» в режимі точного інтерполятора часто дає ефект так званих «бичачих очей» – картограм з концентричними контурними лініями навколо точок вибірки.

У нашому випадку при виборі методу інтерполяції виконувалася так звана «перехресна перевірка», суть якої полягає в тому, що з початкового набору даних випадковим чином видаляється одне спостереження, а потім, використовуючи дані, що залишилися, і вибраний алгоритм інтерполяції, розраховують аналітичне значення вибірки і нев'язку в точці цього спостереження. Цей процес повторюється задане число разів і генерує задану кількість помилок інтерполяції. На основі аналізу цих помилок можна зробити висновки про точність інтерполяції. Перехресну перевірку можна вважати об'єктивним способом оцінки якості методів інтерполяції, а також використовувати для порівняння якості вибраних методів. Для побудови картограм глибини залягання карбонатного горизонту в нашому випадку використано геостатистичний метод-кригінг.

Ґрунти з глибиною залягання карбонатного горизонту більше 100 см діагностовано на підставі наших попередніх досліджень мікроронижень цього господарства [7-9] як лучно-чорноземні, хоча це вимагає подальшого уточнення за водним режимом, морфологічними ознаками і фізико-хімічними властивостями.

Відносні площі, які займають відповідні ґрунтові відміни, представлені на рис. 3. Важливо відзначити, що чорноземи типові (еталонні) займають близько 30,4 % загальної площі поля, тобто існуюча великомасштабна ґрунтова карта не відбиває реальний ґрунтовий покрив території. Отримані на цій дослідній ділянці висновки про просторову неоднорідність ґрунтового покриву, детальні дослідження на виробничих полях в інших господарствах (опублікованих нами частково раніше) в різних районах Київської і Черкаської областей, а також аналіз детальних космічних знімків цих полів в різні фази веге-

таційного періоду дозволяє зробити висновок, що просторова неоднорідність ґрунтового покриву є невід'ємною рисою його формування і функціонування в рівнинному Лісостепу правобережної України. А існуючі великомасштабні ґрунтові карти лише схематично відбивають переважаючий ґрунтоутворювальний процес на конкретному полі.

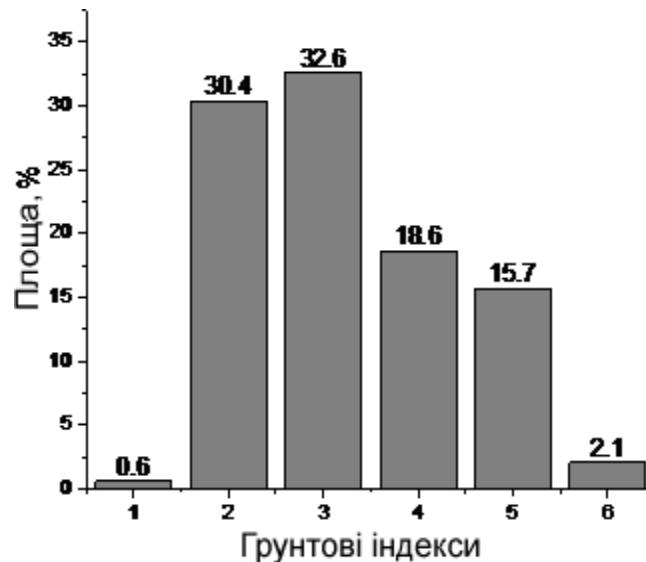


Рис. 3. Розподіл площ ґрунтів з різними індексами (ґрунтові індекси вказані в тексті).

Такий висновок є істотним для сільськогосподарського використання земель цього регіону, особливо при використанні технологій точного землеробства. В той же час він надзвичайно важливий для уточнення методик організації і проведення багаторічних стаціонарних агрономічних досліджень. Ігнорування такої просторової неоднорідності ґрунтового покриву призведе до істотного зниження достовірності стаціонарних досліджень. У зв'язку з цим пропонується ввести поняття коефіцієнта неоднорідності ґрунтового покриву  $k_n$ . Розрахунок такого коефіцієнта необхідно проводити в припущенні, що ґрунтові індекси, які знаходяться близько від середнього значення індексів на конкретному полі, чинять менший вплив на варіабельність стану ґрунтового покриву, а віддалені від середнього значення на значну «відстань» - більшу. Отже, площі поля з індексами, розташованими щонайближче до середнього значення індексу, повинні мати меншу і позитивну «вагу». Тому відхилення ґрунтового індексу від середнього значення беруться до квадрату. Крім того, чим більша площа ділянки поля з конкретним індексом, відмінним від середнього значення, тим більший вплив ця ділянка чинить на варіабельність ґрунтового покриву:

$$k_n = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i(i - \bar{i}^2))}{s \bar{i}^2} \quad (1)$$



де:  $i = 1, 2, \dots, n$  – кількість ґрунтових ділянок з різними індексами;  $\Sigma$  – сума;  $\bar{i} = \frac{\sum_{i=1}^n i}{n}$  – середнє значення індексів ґрунтів, присутніх на полі;  $s_i$  – площа ділянки з  $i$ -м індексом;  $\bar{s}$  – середнє значення площі ділянок з різними індексами.

При знаходженні величини  $\bar{s}$  враховувалося, що побудова картограми варіабельності ґрунтового покриву виконувалася із застосуванням алгоритму інтерполяції. В зв'язку з цим середнє значення площі ділянок з різними індексами знаходиться по формулі:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \frac{s_i}{s_{\min}}}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{s_{\min}}}, \quad (2)$$

де:  $\sum$  – сума;  $s_{\min}$  – ділянка поля з  $i$ -м індексом з мінімальною площею.

На рис. 4 показаний (як приклад) ґрунтовий покрив ділянки поля, де присутні ґрунти з індексами 1, 2 і 3.

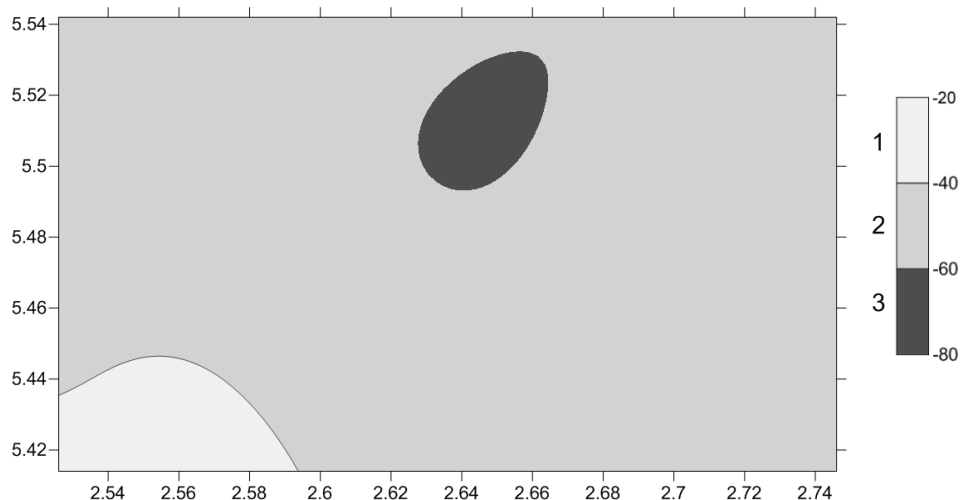


Рис. 4. Ділянка поля з ґрунтовими індексами.

Як видно, ґрунти з індексами 1 і 3 займають відносно невелику площу, а домінуючим є ґрунт з індексом 2. Візуальний аналіз свідчить про те, що ця ділянка поля має низьку варіабельність ґрунтового покриву. Про це якраз і свідчить розраховане за формулами (1) і (2) значення коефіцієнта неоднорідності ґрунтового покриву, яке склало –  $k_n = 4,6$ . Розрахунки коефіцієнта неоднорідності ґрунтового покриву для ряду експериментальних полів показали, що при значеннях  $k_n$  в діапазоні від 0 до 30 варіабельність стану ґрунтового покриву можна вважати низькою, для значень  $k_n = 30-50$  – середньою і

для  $k_n > 50$  – високою. Для ґрунтового покриву на рис. 3 коефіцієнт неоднорідності покриву склав 63, тобто варіабельність висока. Ця класифікація надалі уточнюватиметься у міру накопичення експериментальних даних. Таким чином, запропонована нами уперше методика дозволяє кількісно оцінити просторову неоднорідність ґрунтового покриву і використовувати цей показник в практиці сільськогосподарського виробництва, точного землеробства, ґрунтового картографування, а також при організації і проведенні багаторічних агробіологічних досліджень.

### **Висновки**

Дослідження показують, що ґрунтовий покрив рівнинного Лісостепу неоднорідний не лише із-за наявності добре виражених в рельєфі мікропонижень (мікрозападин) з напівгідроморфними і навіть гідроморфними ґрунтами, але також із-за великої строкатості покриву на рівнинних ділянках, обумовленої нанорельєфом. Перерозподіл атмосферної вологи по поверхні територій з таким рельєфом призводить до концентрації вологи в малопомітних нанозападинах, її фільтрації углиб ґрунтового профілю, вимиванню карбонатів і інших продуктів ґрунтоутворення на помітну глибину. У результаті на відносно рівних територіях формується дуже складний ґрунтовий покрив, представлений не лише типовими чорноземами з різною глибиною залягання карбонатного горизонту, але і вилугованими чорноземами, і навіть лучно-чорноземними ґрунтами.

Для характеристики виявленої неоднорідності ґрунтового покриву доцільно ввести коефіцієнт неоднорідності  $k_n$ , який визначається за запропонованими нами формулами. При цьому ґрунтовий покрив з коефіцієнтом неоднорідності менше 30 відрізняється малою варіабельністю, з коефіцієнтом 30-50 – середньою, і з коефіцієнтом більше 50 – високою варіабельністю. Ця класифікація уточнюватиметься в процесі її практичного застосування і розвитку уявлень про просторову неоднорідність ґрунтового покриву.

У зв'язку з виявленою неоднорідністю ґрунтового покриву виникає необхідність уточнення існуючих великомасштабних і детальних ґрунтових карт, особливо для територій, де вирощуються цінні сільськогосподарські культури або впроваджується система точного землеробства. Велике значення ця проблема має і при проведенні багаторічних стаціонарних агрономічних досліджень, де достовірність отриманих результатів істотно залежатиме від врахування просторової неоднорідності ґрунтового покриву дослідної ділянки.

### **Список літератури**

1. Азімов О. Т. Геодинамічні процеси та їх відображення у ландшафтах / Азімов О. Т., Бублясь В. М., Бублясь М. В. // Сучасні напрямки української геологічної науки. Збірник праць УГН НАН України. – К., 2006. – С. 13–20.

2. Гедройц К. К. Избранные сочинения. Т. 1-3. / К. К. Гедройц. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 600 с.
3. Картографія ґрунтів / За ред. Д. Г. Тихоненко. – Х.: Урожай, 2001. – 321 с.
4. Кауричев И. С. Почвоведение / И. С. Кауричев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 719 с.
5. Полевой определитель почв / Под ред. Н. И. Полулана, Б. С. Носко, В. П. Кузьмичева. – К.: Урожай, 1981. – 320 с.
6. Стародубцев В. М. К оценке пространственной неоднородности почвенного покрова равнинной Лесостепи / В. М. Стародубцев, Л. В. Анискевич, Б. В. Урбан // SWorld, «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2015». – 2015. – 12 с.
7. Стародубцев В. М. Вплив водного режиму мікрозападин Лісостепу на неоднорідність ґрунтового покриву та його використання / В. М. Стародубцев, С. В. Яценко, С. Д. Павлюк, В. В. Ілленко // II -й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. – Вінниця: ФОП Данилюк, 2009. – С. 176–179.
8. Стародубцев В. М. Водний режим мікрозападин як чинник неоднорідності ґрунтового покриву правобережного Лісостепу / В. М. Стародубцев, В. Є. Розстальний, С. В. Яценко, О. О. Бордусь // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: агрономія. – К., 2010. – Вип. 149. – С. 117–121.
9. Стародубцев В. М. Підтоплені ґрунти мікрозападин Лісостепу, їх особливості та агроекологічна роль / Стародубцев В. М. Ладика М. М., Чернявська Г. К. // IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія-2013). Збірник наукових статей. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – С. 420–422.

*Предложенная оценка пространственной неоднородности почвенного покрова равнинных территорий с типичными черноземами. Для ее обоснования использованы полевые мисцевизначенные данные из глубины залегания карбонатного горизонта в профиле почв. Введено понятие «коэффициента неоднородности» состояния почвенного покрова и предложен порядок его расчета. Практическое использование «коэффициента неоднородности» эффективно при внедрении технологий точного земледелия, при организации многолетних агрономических исследований, а также при корректировке детальных почвенных карт.*

**Микрозападины, почвенный покров, черноземы, карбонатность, коэффициент неоднородности.**

*Evaluation of soil cover spatial variability of plain territories with typical black soil is offered. The field site-specific data of carbonate horizon depth in the soil profile is used for it justification. A concept of "Coefficient of Variability" is provided and the methods of it calculation is offered. The practical use of "Coefficient of Variability" is effective for precision agriculture, for providing of long-term agronomical researches and also for adjustment of detailed soil maps.*

**Micro sinkholes, soil cover, black soil, carbonate, coefficient of heterogeneity.**

## **СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА ГСТ-90,112**

*И. Г. Бойко, кандидат технических наук*

*А. В. Войтов, аспирант*

*В. А. Войтов, доктор технических наук*

*Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*Выполнена структурная идентификация математической модели диагностирования объемного гидропривода ГСТ-90,112. Получены дифференциальные уравнения переходного процесса для насоса и мотора. Из анализа уравнений следует, что параметрами, которые характеризуют техническое состояние насоса и мотора, являются постоянные времени переходного процесса, а также декременты затухания колебаний жидкости в напорной магистрали и оборотов мотора. Получены решения дифференциальных уравнений.*

***Структурная идентификация, дифференциальное уравнение переходного процесса, диагностирование, декременты затухания, объемный гидропривод, постоянные времени.***

**Постановка проблемы.** Объемные гидроприводы широко применяются на мобильной сельскохозяйственной технике как система передачи энергии от двигателя к движителям машины при выполнении технологических операций. Техническое состояние таких агрегатов гидропривода как аксиально-поршневой насос (НП-90,112) и мотор (МП-90,112), во многом определяет производительность машин в целом, т.к. влияет на скорость их движения. Изменение технического состояния ГСТ-90,112 в худшую сторону, приводит к потерям в виде увеличения непроизводительных затрат энергии и топлива [1], что связано с объемными потерями рабочей жидкости вследствие внутренних утечек через зазоры (из зон высокого давления в зоны низкого давления). В процессе эксплуатации гидромашин по причине износа объемные потери постоянно увеличиваются.

Объемные потери гидравлического привода определяются коэффициентом подачи для насоса и коэффициентом полезного действия (КПД) для мотора. Согласно ДСТУ 2192-93 [2] критерием предельного состояния является снижение коэффициента подачи

$\eta_{\text{вн}}$  для насоса и КПД  $\eta_{\text{м}}$  для мотора не более, чем на 20% от начальных значений.

Работа гидронасоса и гидромотора характеризуется взаимным влиянием через упругие свойства гидравлической жидкости, которая циркулирует в замкнутом объеме. Поэтому математическое описание таких динамических систем следует искать в совместном взаимодействии насоса-мотора-гидравлической жидкости, что и определяет актуальность настоящего исследования.

**Анализ последних исследований.** В работе [3] приведен анализ по износу основных элементов ГСТ-90, выявлены закономерности распределения износов и получена математическая модель связи объемного КПД с износами и зазорами в трибосистемах ГСТ. Одним из направлений диагностирования гидроприводов является термометрирование [4], которое позволяет определить техническое состояние по температуре корпуса насоса и мотора во время эксплуатации. Данный метод получил дальнейшее развитие в работе [5], где по результатам измерения температуры диагностируются отдельные узлы гидронасоса, однако взаимосвязи между температурным режимом и техническим состоянием отдельных узлов не установлено.

Авторами работы [6] сделан вывод, что гидропривод навесной системы трактора описывается колебательным звеном, при этом по характеристике переходного процесса можно оценить техническое состояние. Анализируя передаточные функции гидроприводов рулевого управления, навесной системы и коробки передач, авторы работы [6] делают вывод, что перечисленные системы можно рассматривать как динамические колебательные системы с малым коэффициентом демпфирования. Качество переходного процесса можно определить по следующим показателям, рис. 1: время переходного процесса  $t_n$ ; время  $t_m$ , при котором давление достигает максимального значения  $P_{\text{max}}$ ; время  $t_1$ , за которое давление жидкости первый раз достигает значения статического давления,  $P_{\text{ном}}$ ; величина перерегулирования  $\sigma$ ; крутизна характеристики, угол  $\gamma$ ; период затухания колебаний,  $\theta$ .

Авторами работы [6] доказано, что перечисленные показатели, рис. 1, имеют связь с техническим состоянием гидропривода, при этом интенсивность нарастания давления  $\dot{P}$ , является наиболее информативным параметром технического состояния гидронасоса.

В работе [7] выполнена структурная идентификация модели диагностирования гидростатического привода ГСТ-90. Получено дифференциальное уравнение переходного процесса динамической системы насос-мотор. Из анализа уравнения следует, что парамет-

рами, которые характеризуют техническое состояние НП-90 и МП-90 являются постоянные времени переходного процесса насоса и мотора, а также декременты затухания колебаний давления жидкости в напорной магистрали и оборотов мотора. В приведенной работе учтена взаимосвязь между насосом и мотором, однако не учтены утечки гидравлической жидкости, которые и снижают КПД гидромашин.

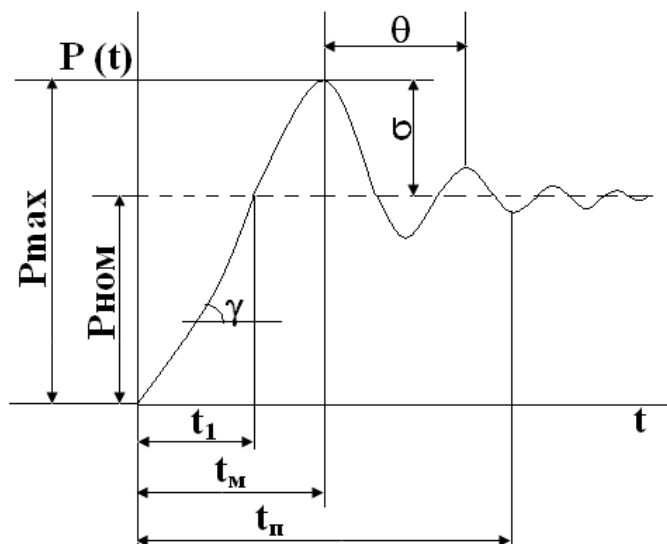


Рис. 1. Показатели качества колебательного переходного процесса [6].

**Целью исследований** данной работы явилось выполнить структурную идентификацию математической модели диагностирования объемного гидропривода ГСТ-90,112, как единой динамической системы насос-мотор-гидравлическая жидкость с учетом утечек в процессе эксплуатации.

**Результаты исследований.** Получение дифференциальных уравнений в теории автоматического регулирования носит название идентификации [8, 9]. Идентификация динамических объектов сводится к задаче получения математической модели адекватной изучаемому явлению, т.е. к определению структуры модели диагностирования (структурная идентификация). Под структурой модели диагностирования будем понимать дифференциальное уравнение, описывающее переходный процесс с точностью до коэффициентов.

Основываясь на априорной информации, а также на основе анализа исследований, выполненных авторами работы [6, 7], физику переходного процесса аксиально-поршневого насоса НП-90,112 можно выразить зависимостью изменения давления  $P$  в линии нагнетания во времени (выходной сигнал), при отклонении наклонной шайбы на угол  $\alpha$  (входной сигнал), которая качественно представлена на рис. 2, а.

Физику переходного процесса гидромотора МП-90,112 можно выразить зависимостью изменения оборотов вала мотора во времени  $n$  – (выходной сигнал) при появлении давления в линии нагнетания (входной сигнал), рис. 2, б.

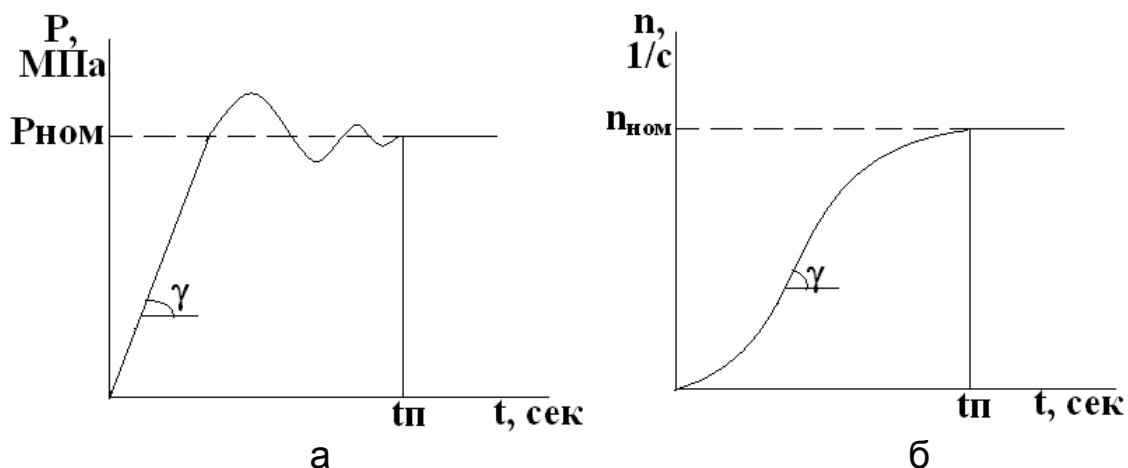


Рис. 2. Зависимость изменения давления  $P$  в линии нагнетания (а) и оборотов мотора (б) с течением времени.

Рассматривая физику переходных процессов, рис. 2, следует отметить, что зависимость переходного процесса в насосе, рис. 2, а, соответствует инерционному колебательному звену второго порядка и его передаточная функция имеет вид [7-9]:

$$W_H(p) = \frac{K_H}{T_H^2 p^2 + 2d_H T_H p + 1}, \quad (1)$$

где:  $K_H$  – коэффициент усиления, который характеризует степень влияния входного сигнала на выходной;  $T_H$  – постоянная времени насоса;  $p$  – оператор дифференцирования  $p = \frac{d}{dt}$ , применяется вместо знака дифференцирования;  $d$  – декремент затухания.

Зависимость переходного процесса в моторе, рис. 2, б, соответствует инерционному апериодическому звену второго порядка, и его передаточная функция имеет вид [7-9]:

$$W_M(p) = \frac{K_M}{T_M^2 p^2 + 2d_M T_M p + 1}, \quad (2)$$

где:  $K_M$ ,  $T_M$ ,  $d_M$  – коэффициент усиления, постоянная времени, декремент затухания мотора МП-90,112 для апериодического звена  $d_M < 1$ .

Учитывая то, что в конструкции ГСТ-90,112 насос и мотор соединены последовательно, представим структурно-динамическую схему ГСТ-90,112 в виде последовательного соединения передаточных функций, рис. 3.

Структурно-динамическая схема отражает не функциональное назначение и конструктивные взаимосвязи насос-мотор в системе, а математические операции, которые осуществляются при передаче входных сигналов ( $\bar{\alpha}$  и  $\bar{P}$ ) через звенья и динамические свойства системы в целом. На рис. 3 изображены передаточные динамические функции насоса НП и мотора МП.

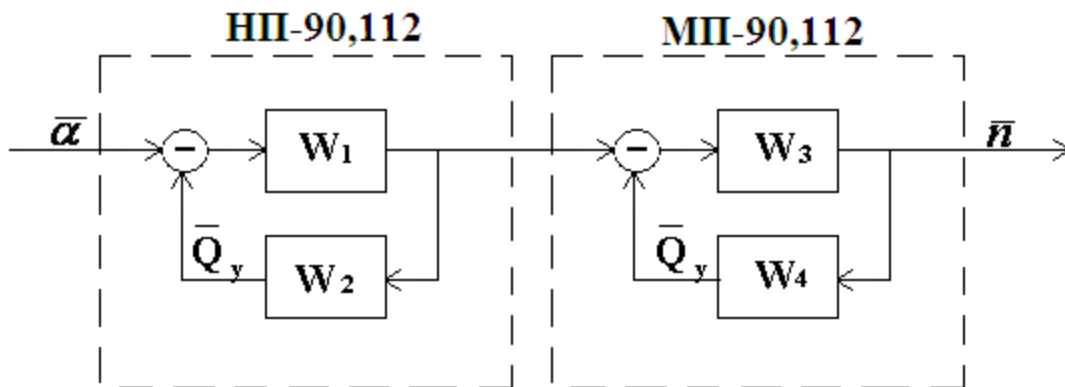


Рис. 3. Структурно-динамическая схема переходного процесса в ГСТ-90,112.

Передаточная функция насоса НП-90,112 описывается инерционным звеном:

$$W_1 = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, \quad (3)$$

где:  $K_1$  – коэффициент усиления насоса;  $T_1$  – постоянная времени насоса.

Передаточная функция  $W_2$ , которая включена в схему в виде отрицательной обратной связи, учитывает утечки жидкости  $\bar{Q}_y$ , которые согласно работ [6] пропорциональны давлению  $P$ , а также зависят от величины зазоров между подвижными деталями, т.е. от величины износа. Такую функцию можно описать интегрирующим звеном:

$$W_2 = \frac{K_2}{T_2 p}, \quad (4)$$

где:  $K_2$  – коэффициент усиления по утечкам в насосе;  $T_2$  – постоянная времени, которая зависит от скорости утечек в насосе.

Передаточная функция мотора МП-90,112 также описывается инерционными звеном:

$$W_3 = \frac{K_3}{T_3 p + 1}, \quad (5)$$



где:  $K_3$  – коэффициент усиления мотора;  $T_3$  – постоянная времени мотора.

Передаточная функция  $W_4$  включена в схему в виде отрицательной обратной связи и учитывает утечки жидкости в моторе:

$$W_4 = \frac{K_4}{T_4 p}, \quad (6)$$

где:  $K_4$  – коэффициент усиления по утечкам в моторе;  $T_4$  – постоянная времени, которая зависит от скорости нарастания утечек в моторе.

Применяя методы теории автоматического регулирования [8,9] можно получить эквивалентные передаточные функции для насоса:

$$W_n = \frac{W_1}{1 + W_1 \cdot W_2} = \frac{\frac{K_1}{T_1 p + 1}}{1 + \frac{K_1 \cdot K_2}{(T_1 p + 1) T_2 p}} = \frac{\frac{T_2}{K_2} p}{\frac{T_1 T_2}{K_1 K_2} p^2 + \frac{T_2}{K_1 K_2} p + 1}, \quad (7)$$

для мотора:

$$W_m = \frac{\frac{T_4}{K_4} p}{\frac{T_3 T_4}{K_3 K_4} p^2 + \frac{T_4}{K_3 K_4} p + 1}. \quad (8)$$

Сравнивая полученные выражения (7) и (8) с выражением передаточной функции инерционного колебания звена (1) и (2) можно записать выражения для определения:

- постоянной времени насоса:

$$T_n = \sqrt{\frac{T_1 \cdot T_2}{K_1 \cdot K_2}}, \quad (9)$$

- постоянной времени мотора:

$$T_m = \sqrt{\frac{T_3 \cdot T_4}{K_3 \cdot K_4}}, \quad (10)$$

- декремента затухания насоса:

$$d_n = \frac{T_2 \sqrt{K_1 \cdot K_2}}{2 K_1 \cdot K_2 \sqrt{T_1 \cdot T_2}}, \quad (11)$$

- декремента затухания мотора:

$$d_m = \frac{T_4 \sqrt{K_3 \cdot K_4}}{2 K_3 \cdot K_4 \sqrt{T_3 \cdot T_4}}, \quad (12)$$

Соответствующее уравнение динамики переходного процесса для насоса запишем на основании передаточной функции (7):

$$(T_n^2 p^2 + 2d_n T_n p + 1)P = \left( \frac{T_2}{K_2} p \right) \alpha, \quad (13)$$

- для мотора на основании передаточной функции (8):

$$\left(T_m^2 p^2 + 2d_m T_m p + 1\right)n = \left(\frac{T_4}{K_4} p\right)P, \quad (14)$$

Уравнения динамики переходного процесса (13) и (14) можно записать в виде дифференциального уравнения в натуральных переменных:

- для насоса:

$$T_n^2 \frac{d^2 P}{dt^2} + 2d_n T_n \frac{dP}{dt} + P = K_n \frac{d\alpha}{dt}, \quad (15)$$

- для мотора:

$$T_m^2 \frac{d^2 n}{dt^2} + 2d_m T_m \frac{dn}{dt} + n = K_m \frac{dP}{dt}, \quad (16)$$

Правая часть дифференциальных уравнений (15) и (16) содержит входной сигнал – первая производная угла отклонения наклонной шайбы НП-90,112,  $\dot{\alpha}$  и скорость нарастания давления после насоса  $\dot{P}$ . Коэффициенты  $K_m$ ,  $K_n$  при входном сигнале называются коэффициентами усиления [8, 9] и показывают, как сильно входной сигнал  $\dot{\alpha}$  и  $\dot{P}$ , (скорость отклонение шайбы насоса и скорость нарастания давления после насоса), влияет на выходной – величина давления жидкости после насоса  $P$  и обороты  $n$  мотора.

Левая часть уравнения – это реакция динамической системы на входной сигнал  $\dot{\alpha}$  и  $\dot{P}$ . Постоянные времени насоса  $T_n$  и мотора  $T_m$  имеют размерность времени и характеризуют инерционность процесса. Увеличение постоянных времени делает процесс менее восприимчивым к изменению входного сигнала. Исходя из физической интерпретации постоянных времени [7-9],  $T_n$  и  $T_m$  могут нести информацию о степени износа насоса и мотора, т.е. с увеличением степени износа последних (с увеличением утечек в сопряжениях), постоянные времени будут увеличиваться. Это будет выражаться в отсутствии изменения оборотов мотора при изменении угла наклонной шайбы насоса.

Величины постоянных времени  $T$  коррелируют с углом наклона кривой переходного процесса  $\gamma$ , рис. 1, рис. 2. Чем меньше  $T$ , тем больше  $\gamma$  [6]. Декремент затухания  $d$  насоса и мотора, или коэффициент демпфирования [6], характеризует наличие или отсутствие колебательного процесса. При значениях  $d < 1$ , переходный процесс имеет колебания, рис. 2, а. При значениях  $d > 1$ , переходный процесс не имеет колебаний, рис. 2, б. Чем больше  $d$ , тем ближе становится переходный процесс.

Решением для приведенных выше дифференциальных уравнений являются следующие выражения.

Для насоса решение уравнения (15) имеет вид:

$$P(t) = P_{мек} \left( 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{1-d_n^2}} e^{-\left(\frac{d_n}{T_n} t\right)} \cdot \sin(\omega_n t + \varphi_n) \right) \right), \quad (17)$$

где:  $P_{мек}$  – текущее значение давления в контуре нагнетания насоса, которое соответствует определенному техническому состоянию насоса;  $\omega_n$  – частота колебаний давления в нагнетательном контуре насоса;

$$\omega_n = \frac{\sqrt{1-d_n^2}}{T_n}. \quad (18)$$

Величина отклонения давления от текущего значения во время колебательного процесса:

$$\varphi_n = \arctg \frac{\sqrt{1-d_n^2}}{d_n}. \quad (19)$$

Для мотора решение уравнения (16) имеет вид:

$$n(t) = n_{мек} \left( 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{1-d_m^2}} e^{-\left(\frac{d_m}{T_m} t\right)} \cdot \sin(\omega_m t + \varphi_m) \right) \right), \quad (20)$$

где:  $n_{мек}$  – текущее значение оборотов ротора мотора, которые соответствуют определенному техническому состоянию мотора.

Частота колебания оборотов ротора мотора:

$$\omega_m = \frac{\sqrt{1-d_m^2}}{T_m}. \quad (21)$$

Величина отклонения оборотов ротора мотора от текущего значения во время колебательного процесса:

$$\varphi_m = \arctg \frac{\sqrt{1-d_m^2}}{d_m}. \quad (22)$$

**Вывод.** Выполнена структурная идентификация математической модели диагностирования объемного гидропривода ГСТ-90,112. В структуру модели включена взаимосвязь насос-мотор-утечки гидравлической жидкости. Из анализа дифференциального уравнения переходного процесса динамической системы следует, что параметрами, которые характеризуют техническое состояние насоса НП-90,112 и мотора МП-90,112, являются постоянные времени, а также декременты затухания колебаний давления жидкости в напорной магистрали и оборотов мотора. Перечисленные параметры являются диагностическими по оценке технического состояния ГСТ-90,112. Получены решения дифференциальных уравнений, которые позволяют моделировать переходный процесс в динамической системе насос-мотор-гидравлическая жидкость.

## Список литературы

1. Горбатов В. В. Аналіз впливу зміни технічного стану гідроприводів циклічної дії сільськогосподарських машин на перевитрати палива / В. В. Горбатов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Х., 2009. – Вип. 80. – С. 315–321.
2. ДСТУ 2193-93 Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. Загальні технічні умови. – 24 с.
3. Галин Д. А. Анализ технического состояния гидростатической трансмиссии ГСТ-90 / Д. А. Галин // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Сб. науч. тр. Морд. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. – Саранск: «Красн. Окт.». – С. 117–120.
4. Башта Т. М. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. М. Башта, Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
5. Колганов Е. В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / Е. В. Колганов // Вісник Дніпропетровського ДАУ. – 2009. – № 2. – С. 71–74.
6. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е. Е. Александров, Д. О. Волонцевич, В. А. Карпенко, А. Т. Лебедев, В. А. Перегон, В. Б. Самородов, А. Н. Туренко. – Х.: Издательство ХГАДТУ (ХАДИ), 2001. – 642 с.
7. Войтов В. А. Теоретическое обоснование диагностических параметров технического состояния объемного гидропривода ГСТ-90 / Войтов В. А., Севрюков Ю. И. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Х., 2011. – Вип. 109. – С. 13–19.
8. Дейч А. М. Методы идентификации динамических объектов / А. М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
9. Эйкхоф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхоф. – М.: Мир, 1975. – 684 с.

*Виконана структурна ідентифікація математичної моделі діагностування об'ємного гідроприводу ГСТ-90,112. Отримано диференціальні рівняння перехідного процесу для насоса і мотора. З аналізу рівнянь випливає, що параметрами, які характеризують технічний стан насоса і мотора, є постійні часу перехідного процесу, а також декременти загасання коливань рідини в напірній магістралі і обертів мотора. Отримано розв'язки диференціальних рівнянь.*

***Структурна ідентифікація, диференціальне рівняння перехідного процесу, діагностування, декременти згасання, об'ємний гідропривід, постійні часу.***

*The structural identification of hydrostatic drive GST-90, GST-112 diagnostic model is implemented. The differential dependence of transitional process of dynamic system pump-engine is formalized. From the analysis of equations that the parameters which characterize the*

*technical condition of the pump and motor are the time constants of the transition process, as well as the damping decrement of the liquid in the pressure line, and engine speed. The solutions have been obtained of differential equations.*

***Structural identification, differential dependence of transitional process, diagnosis, damping decrement, volumetric hydraulic drive, time constants.***

УДК 631.12

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ НАСІННЯ КОМБАЙНАМИ З РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СХЕМАМИ ОБМОЛОТУ**

***В. О. Шейченко, доктор технічних наук***

***М. М. Анеляк, А. Я. Кузьмич, кандидати технічних наук***

***С. О. Кустов, магістр***

***О. М. Грицака, аспірант***

***Національний науковий центр «Інститут механізації  
та електрифікації сільського господарства»***

*За результатами проведених досліджень встановлено: у молотильному апараті аксіально-роторного типу збільшення частоти обертання ротора від  $520 \text{ хв}^{-1}$  до  $810 \text{ хв}^{-1}$  призводить до відповідного зростання мікропошкодження насіння від 25-30 % до 45-50 %; у молотильному апараті барабанно-декового типу збільшення частоти обертання барабану від  $700-760 \text{ хв}^{-1}$  до  $820 \text{ хв}^{-1}$  призводить до відповідного зростання мікропошкодження насіння від 37-38 % до 41-44 %. З метою зменшення рівня травмування та пошкодження насіння при його збиранні доцільно передбачити розроблення вітчизняного насіннево-селекційного зернозбирального комбайна.*

***Зернозбиральний комбайн, мікропошкодження насіння, макротравмування насіння, схема обмолоту.***

**Постановка проблеми.** Одним з найбільших фінансово привабливих видів діяльності сучасного сільгоспвиробника є виробництво та реалізації насіння. Щорічно у нашій державі на посів зернових та технічних культур витрачається понад 3,5 млн. тон насіння, що складає 8-10 відсотків валового збору зерна [1].

Низька якість вітчизняного посівного матеріалу обумовлена значним травмуванням насіння при збиранні та його первинній

© В. О. Шейченко, М. М. Анеляк, А. Я. Кузьмич, С. О. Кустов, О. М. Грицака, 2015

обробці, що впливає на його схожість. За таких умов норма висіву іноді збільшується на 20-25 відсотків у порівнянні з європейськими країнами. Використання в якості посівного матеріалу травмованого насіння призводить до втрат врожаю з розрахунку на один гектар: 0,5 т жита, 0,3 т ярого ячменю, 0,2 т пшениці ярої, 0,6 т вівса, 0,8 т кукурудзи. При цьому кожні 10% травмованих насінин, як майбутнього посівного матеріалу, знижують врожайність у середньому на 0,1 т з 1 га [2, 3].

Висока пошкодженість насіння при його збиранні та первинній обробці є однією з причин, які перешкоджають його просуванню на європейські та світові ринки.

**Аналіз останніх досліджень.** Характерною ознакою сьогодення є домінування споживчого інтересу до високопродуктивної збиральної техніки. Відповідно до таких тенденцій провідні виробники наповнюють ринок комбайнами з потужністю 150-600 к.с., які за технологічною схемою обмолоту і сепарації хлібної маси розділяють на три основні типи: класичні, роторні і комбіновані. В сучасних зернозбиральних комбайнах збільшуються як основні параметри – ширина захвату жаток до 12,5 м, потужність двигуна до 600 к.с., ємкість бункера до 14000 л, так і вдосконалюються молотильно-сепаруючі пристрої (МСП), електронні системи контролю і налаштування технологічного процесу, системи автоматичного водіння і синхронізації при перевантаженні зерна в рухомі транспортні засоби, пристрої для збирання не зернової частини врожаю. Отримання чистого зерна від комбайна, яке не потребує додаткового очищення – це одна із вимог до сучасних комбайнів. Чистота бункерного зерна повинна бути не менше 98 %, а дроблене зерно не більше 1 %. Тому значна увага в нових комбайнах приділяється удосконаленню як самих систем очистки зерна (СОЗ), так і засобів контролю і оптимізації налаштувань для отримання заданої чистоти зерна. Проте питанням травмування насіння при його збиранні та первинній обробці, а також оцінці його посівних властивостей недостатньо приділено уваги.

**Мета досліджень.** Підвищення ефективності технологічних процесів виробництва зернових культур завдяки дослідженню травмування насіння комбайнами з різними технологічними схемами обмолоту за умов їх використання на збиранні зернових на насіння.

**Методика досліджень.** Частка зерен з макротравмування (дроблене, сплющене і здавлене з пошкодженим зародком або відокремленою частиною зернини) складає близько 3-5%. Кількість же зерен з мікропошкодженнями (пошкоджена оболонка, приховані внутрішні дефекти – подряпини, вм'ятини, тріщини, тощо) досягає рівня 50-80 % і більше.

Травмування зерна за обмолочування, сепарації і транспортування визначається згідно з ДСТУ 4138-2002. "Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості" [4] і залежить від багатьох чинників. До них відносять:

1) фізико-механічні властивості технологічного матеріалу, який обробляється молотаркою, що визначаються вологістю зерна і не зернової частини, співвідношенням маси зерна і соломи, формою і будовою зернівки, сортовими особливостями та іншими властивостями;

2) фактори, що пов'язані з конструкцією зернозбиральних машин та обладнання для післязбиральної обробки зерна (типи та параметри робочих органів, їх компоновка);

3) технологічні регулювання і режим роботи основних механізмів комбайна, особливо молотильно-сепаруючого пристрою (частота обертання барабана, молотильні зазори, подача);

4) технічний стан деталей (знос бичів, планок, шнеків, скребків тощо).

На ступінь травмування зерна за обмолоту впливають видові, сортові особливості, врожайність культури. Зі збільшенням вологості кількість дробленого зерна знижується, а розплющеного і мікропошкодженого зростає. На травмування впливають розміри, будова зерен, напрямок подачі колосся в молотильний апарат тощо.

**Результати досліджень.** В ННЦ «ІМЕСГ» на протязі останніх років проведено комплекс досліджень [5-11] щодо визначення ступеня травмування насіння зернозбиральними комбайнами з різними схемами технологічного процесу, зокрема встановлення залежностей значення мікропошкоджень насіння від режимів робочих органів молотильного апарату та завантаження молотарки хлібною масою. Крім того визначали вплив такого фактора, як заповнення бункера.

Дослідження проводили при прямому комбайнуванні ярого ячменю за таких умов: урожайність – 40 ц/га, вологість насіння 14-15%, забур'яненість на фактичній висоті зрізу – 3-5%, співвідношення маси насіння до незернової частини 1:0,92.

Дослідження впливу параметрів молотильного апарату аксіально-роторного типу на значення мікропошкоджень насіння робочими органами проводили на базі зернозбирального комбайна КЗСР-9 "Ротор". Встановлено, що визначальний вплив на значення мікропошкодження насіння відіграє частота обертання ротора: мікропошкодження насіння збільшується від 25-30 % при значенні частоти обертання ротора  $520 \text{ хв}^{-1}$  до 45-50 % при значенні частоти обертання ротора  $810 \text{ хв}^{-1}$  (рис. 1, а, б, в). Характер залежності впливу завантаження молотарки на значення мікропошкодження насіння зберігається при всіх частотах обертання ротора, на яких проводили дослідження.

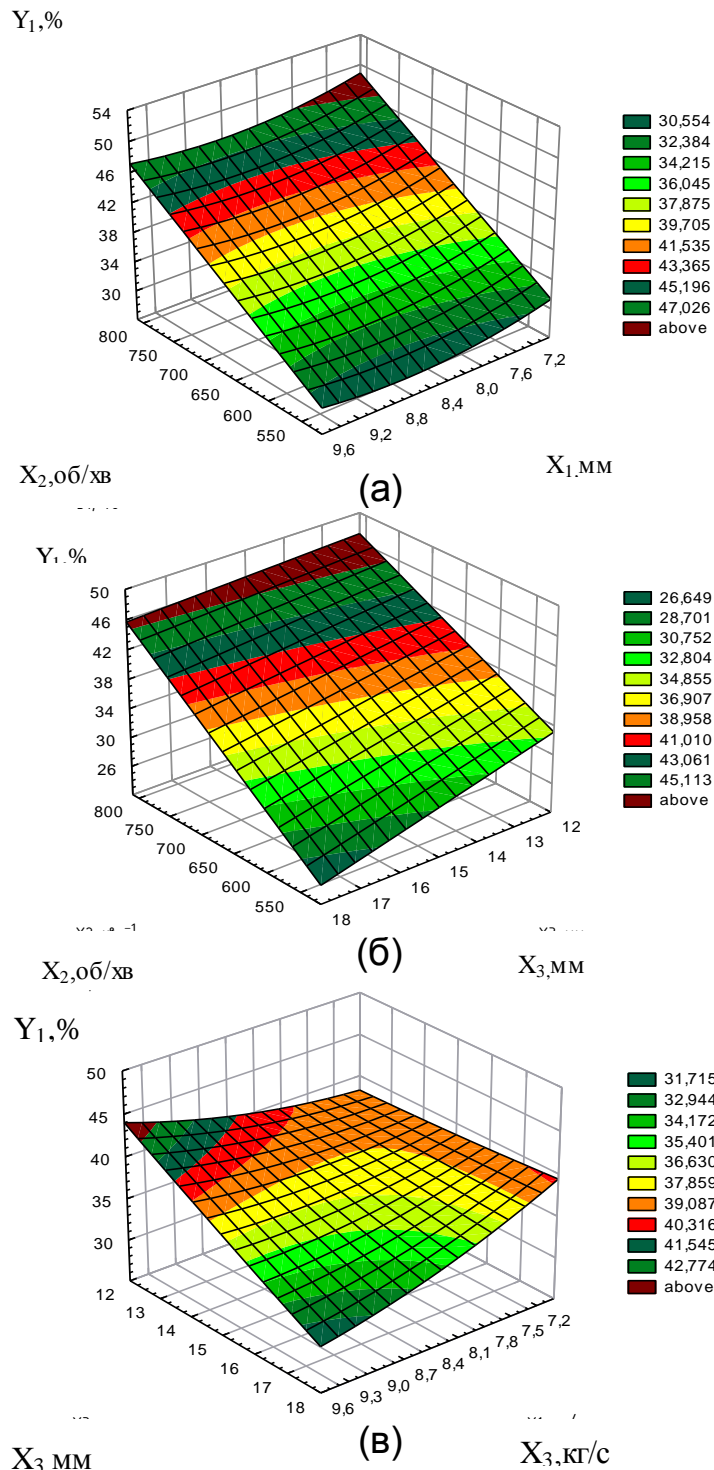


Рис. 1. Залежність зміни значення мікропошкоджень насіння від завантаження молотарки хлібною масою  $X_1$  та частотою обертання ротора  $X_2$  (а), частотою обертання ротора  $X_2$  та зазору між ротором і декою  $X_3$  (б), завантаження молотарки  $X_1$  та зазору між ротором і декою  $X_3$  (в).

З метою забезпечення менших рівнів мікропошкоджень насіння, необхідно зменшувати зазори між ротором та декою, а не збільшувати частоти обертання ротора (рис. 1, в).



Дослідження впливу параметрів молотильного апарату барабанно-декового типу на значення мікропошкоджень насіння робочими органами проводили на базі зернозбирального комбайна "Дон-1500". Встановлено, що визначальний вплив на значення мікропошкоджень насіння за такою схемою відіграє частота обертання барабана (рис. 2). Мінімальні значення мікропошкоджень насіння, що складають 37-38 % в діапазоні зміни частоти обертання барабана, на яких проводились дослідження, спостерігаються при значенні  $n = 700-760 \text{ хв}^{-1}$ . Збільшення частоти обертання барабана до  $n = 820 \text{ хв}^{-1}$  супроводжується підвищенням рівня мікропошкоджень насіння в межах 4-6 %. Таким чином, в залежності від режимів роботи молотильно-сепаруючих пристроїв зернозбиральних комбайнів "Дон-1500" та КЗС-9Р "Славутич" значення мікропошкоджень зерна знаходиться в межах 25-55 %.

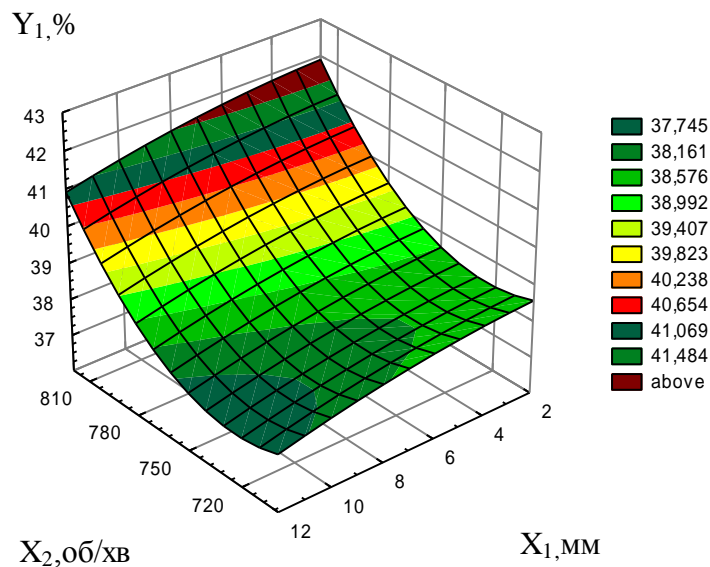
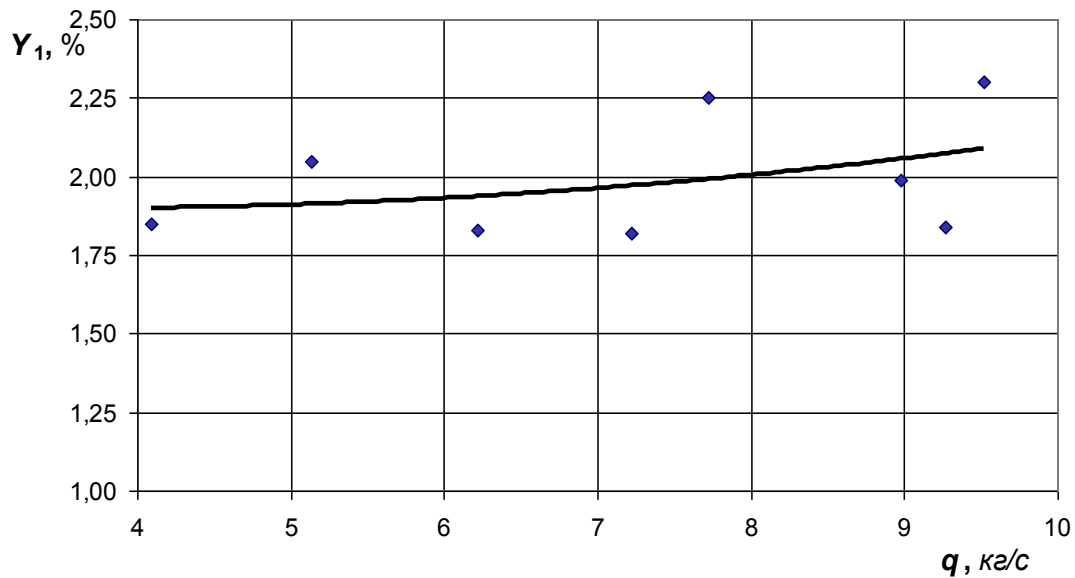


Рис. 2. Залежність зміни значення мікропошкоджень насіння від частоти обертання барабана  $X_2$  та зазору між барабаном і декою  $X_1$ .

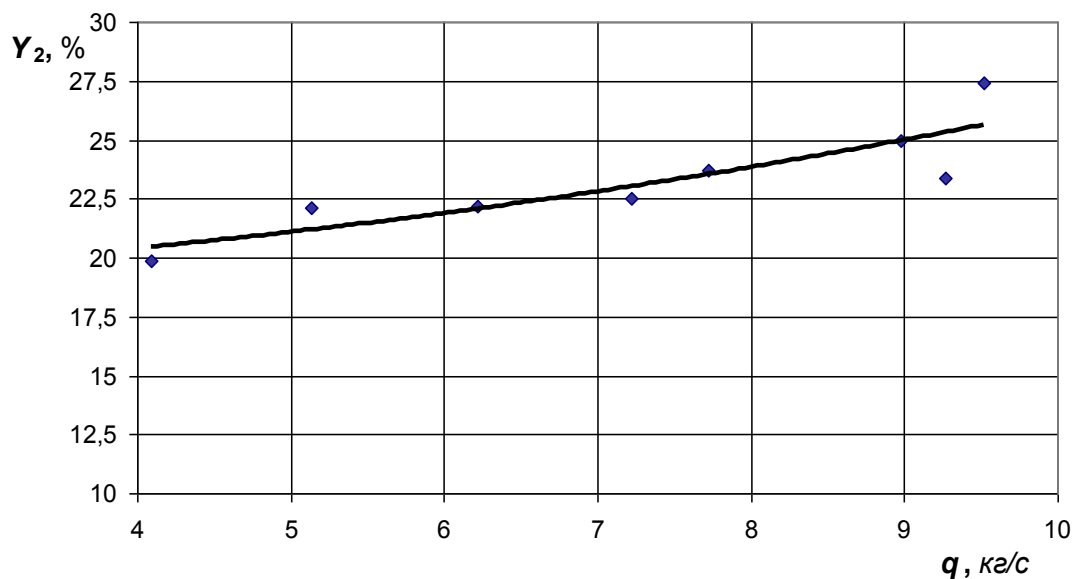
При виборі оптимальних параметрів роботи молотильного апарату, за умови мінімуму втрат насіння, при мінімальному його мікропошкодженні, слід віддавати перевагу зменшенню зазорів між барабаном та декою перед збільшенням частоти обертання барабана. Нами відмічено, що недовантаження молотарки комбайна на 30-40 % веде до підвищення рівня мікропошкоджень насіння на 2-5 %.

Робота комбайна із штучно перевантаженим бункером призводить до збільшення рівня мікропошкоджень насіння на 5-10 %, а в окремих випадках до 40%, порівняно з незаповненим. Дослідження травмування зерна робочими органами комбайна з трибарабанною молотаркою проводили на збиранні озимої пшениці. Під час прове-

дення досліджень визначали вплив завантаження молотарки комбайна на значення макро та мікро пошкодження насіння. Дослідження проводили за таких умов: спосіб збирання – пряме комбайнування, врожайність – 35 ц/га.



(а)



(б)

Рис. 3. Залежність впливу завантаження комбайна  $q$  на значення макротравмування  $Y_1$  (а) та мікро пошкодження  $Y_2$  (б) насіння, що надходить в бункер комбайна КЗС-9 "Славутич".

Під час проведення досліджень швидкість руху комбайна змінювали в межах 0,9-2,3 м/с, що відповідає пропускній здатності комбайна 3,7-9,6 кг/с. Значення макротравмування насіння (рис. 3, а), що надходить в бункер комбайна, знаходиться в межах 1,8-2,3 %. Зі збільшенням завантаження комбайна, значення травмування насін-

ня зростає на всьому діапазоні, на якому проводили дослідження. Значення мікропошкодження насіння (рис. 3, б), під час проведення досліджень знаходилось в межах 20-28 %.

Результати досліджень щодо впливу завантаження молотарки на травмування насіння зернозбиральним комбайном КЗС-9М-1 “Славутич” з трибарабанною схемою обмолоту (озима пшениця “Поліська-90”, врожайність 57,95 ц/га, солонистість 1:1,10, вологість насіння 9,0 %, вологість соломи 8-9 %, температура повітря 28-29 °С наведено на рис. 4.

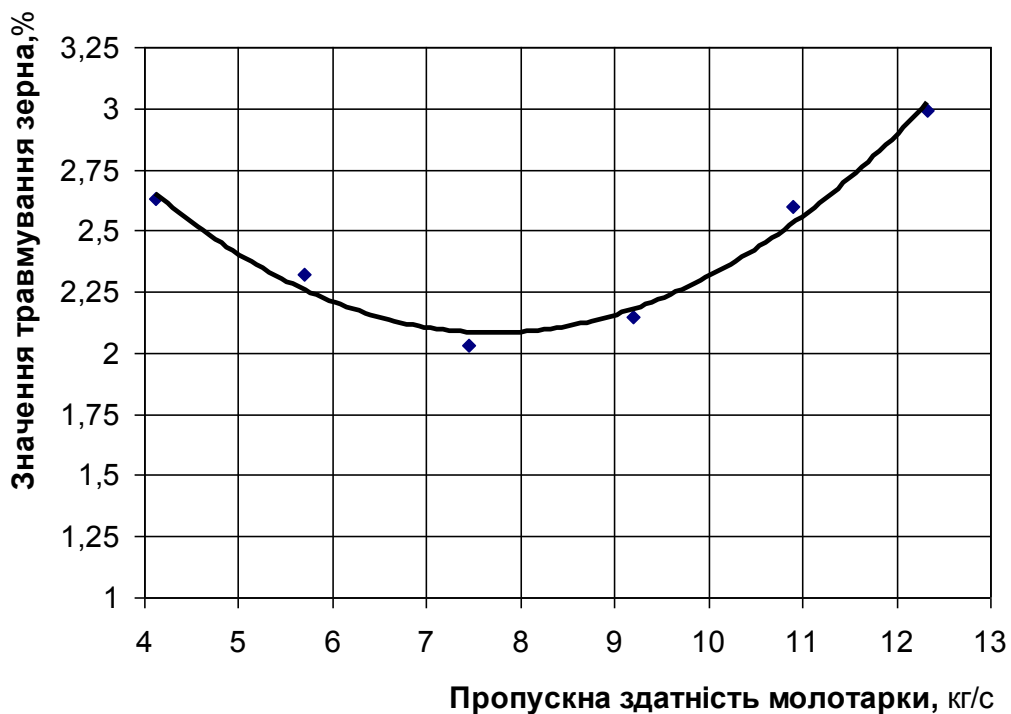


Рис. 4. Залежність травмування зерна від пропускної здатності зернозбирального комбайна КЗС-9М-1 “Славутич” з трибарабанною схемою обмолоту.

У зернозбирального комбайна КЗС-9М-1 “Славутич” з трибарабанною схемою обмолоту найменший рівень травмування насіння зафіксовано за пропускною здатністю близько 8 кг/с.

#### **Висновки**

За результатами проведених досліджень встановлено: у молотильному апараті аксіально-роторного типу збільшення частоти обертання ротора від  $520 \text{ хв}^{-1}$  до  $810 \text{ хв}^{-1}$  призводить до відповідного зростання мікропошкодження насіння від 25-30 % до 45-50 %; у молотильному апараті барабанно-декового типу збільшення частоти обертання барабану від  $700-760 \text{ хв}^{-1}$  до  $820 \text{ хв}^{-1}$  призводить до відповідного зростання мікропошкодження насіння від 37-38 % до 41-44 %.

Недовантаження молотарки комбайна на 30-40 % веде до підвищення рівня мікропошкодження насіння на 2-5 %.

У зернозбирального комбайна КЗС-9М-1 “Славутич” з трибарабанною схемою обмолоту макротравмування насіння, що надходить в бункер, знаходиться в межах 1,8-2,3 %, мікропошкодження – відповідно 20-28 %.

З метою зменшення рівня травмування та пошкодження насіння при його збиранні доцільно передбачити розроблення вітчизняного насіннево-селекційного зернозбирального комбайна.

### Список літератури

1. Програма “Зерно України – 2015”. – К.: ДІА, 2011. – 48 с.
2. Зінченко О. І. Рослинництво : підручник / О. І. Зінченко , В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко ; за ред. О. І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591с.
3. Травмирование семян и его предупреждение / Под общей ред. И. Г. Стронь. – М.: Колос, 1972. – 159 с.
4. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 173 с.
5. Шейченко В. О. Дослідження впливу терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів на їх ефективність / В. О. Шейченко, М. М. Анеляк, А. Я. Кузьмич, С. О. Кустов // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2015. – Вип. 100/1. – С. 242–249.
6. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / За ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – К.: Аграрна наука, 2012. – 416 с.
7. Шейченко В. О. Обґрунтування сепаруючої поверхні решіт зернозбиральних комбайнів / В. О. Шейченко, М. М. Анеляк, М. М. Толстушко, А. Я. Кузьмич, С. О. Кустов // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ. – 2013. – Вип. 26. – С. 151–156.
8. Шейченко В. Удосконалення технологічного процесу збирання насіння бобових трави / В. Шейченко, М. Анеляк, А. Кузьмич, С. Кустов, В. Ріпенко // Матеріали XV Міжнародної наукової інтернет-конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки та технологій» присвяченої 80-річчю академіка Леоніда Погорілого, Дослідницьке, 2014. – С. 121.
9. Шейченко В. О. Теорія і розрахунок апаратів для підбирання та обертання : монографія / В. О. Шейченко, Г. А. Хайліс. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2014. – 240 с.
10. Sheychenko V. Influence the service life of the combine harvesters for their performance / Sheychenko V., Anelyak M., Kuzmich A., Kustov S. // III International scientific Congress “Agricultural machinery”, Varna, 22-25 June 2015. – P. 98.

*По результатам проведенных исследований установлено: в молотильно аппарате аксиально-роторного типа увеличения частоты вращения ротора от 520 мин<sup>-1</sup> до 810 мин<sup>-1</sup> приводит к соответствующему росту микроповреждения семян от 25-30 % до*

45-50 %; в молотильно апараті барабанно-протилежне типу збільшення частоти вращення барабана від 700-760  $\text{min}^{-1}$  до 820  $\text{min}^{-1}$  приводить до відповідного зростання мікроповреждень насіння від 37-38 % до 41-44 %. З метою зменшення рівня травмування і пошкодження насіння при його зборі цілесообразно передбачити розробку вітчизняного насінно-селекційного зернозбирального комбайна.

**Зернозбиральний комбайн, мікроповредження насіння, макротравмування насіння, схема обмолота.**

*The results of the study found: in the axial-flow type threshing unit the increase rotor speed from 520 rpm to 810 rpm leads to a corresponding increase microdamages seed from 25-30 % to 45-50 %; in the drum type threshing machine the increase in frequency of rotation of the drum with a 700-760 rpm to 820 to results in a corresponding increase in microdamages seeds from 37-38 % to 41-44 %. In order to reduce the level of damage to the seed it is appropriate to provide for the development of domestic seed-breeding combine.*

**Combine harvester, microdamages of the seeds, damages of the seeds, scheme of thrashing.**

УДК 631.362

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО СОРТУВАННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ**

**А. М. Поляков, А. І. Дзюба, кандидати технічних наук  
Луганський національний аграрний університет**

*Проведено аналіз пристроїв для сортування бульб картоплі і запропонований напрямок по створенню нових конструкцій. Приведений новий пристрій для сортування бульб картоплі.*

**Картопля, сортування, гвинтовий класифікатор.**

**Постановка проблеми.** Картопля є традиційним продуктом харчування і важливою сировиною для промисловості багатьох країн. У світовому виробництві рослинних продуктів харчування ця культура займає четверте місце після пшениці, рису і кукурудзи [1]. Вона вирощується на всіх континентах більше ніж у 125 країнах, а площа під цією культурою в середньому складає 18 млн. га.

© А. М. Поляков, А. І. Дзюба, 2015

Сортування картоплі є важливою технологічною операцією, яку необхідно виконувати після збирання врожаю з метою відбору партій картоплі за призначенням: на реалізацію, посадку і кормову. Це забезпечує якісне зберігання картоплі у зимовий період, що особливо важливо для насіннєвого матеріалу.

У зв'язку з цим обґрунтування параметрів процесу сортування і розробка сортувалки бульб картоплі має науковий і практичний інтерес та є актуальним завданням для розвитку картопляної галузі України.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі прості конструкції пристроїв, наприклад, похила полотняна гірка. За рахунок кута нахилу гірки картопля і ґрунтові домішки, які мають різний коефіцієнт тертя по матеріалу робочої поверхні гірки, розділяються. Пальчата гірка складається із похилого стрічкового транспортера з гумовими пальцями. Розділення відбувається за рахунок відмінних коефіцієнтів тертя-кочення, розмірів та абсолютної ваги картоплі і ґрунтових домішок [2]. Для відокремлення картоплі від ґрунтових домішок застосовують гвинтовий сепаратор, який використовують для розділення бульб, які мають різну форму [3].

Гладкі конічні ролики з гвинтовою навивкою застосовують як пристрої для сортування картоплі. Конічні гладкі ролики обертаються назустріч один одному, а картопля рухається між роликами і розділяється на фракції в залежності від форми та геометричних розмірів. Конічні ролики з гвинтовою навивкою обертаються теж назустріч один одному, але вони розтягують ворох картоплі по всій довжині роликів. Пристрій розділяє бульби картоплі на фракції, але відбувається травмування бульб, защемлення [4].

Транспортерні пристрої для сортування бульб картоплі типу нескінченних ременів круглого перерізу мали широке поширення. Декілька таких ременів встановлюють віялоподібно або паралельно один одному. В цьому пристрої бульби картоплі практично не пошкоджуються, але при цьому основний недолік – низька точність сортування [5].

Вдосконалений пристрій з ремінними робочими органами являє собою сортувальну машину, робочий орган якої являє собою нескінченну сітку. Така машина забезпечує високу точність сортування бульб, але сильно їх пошкоджує [6]. Велике поширення отримали сортувальні пункти, в яких встановлювали ролики впоперек руху вороху картоплі. Спочатку встановлювали гладкі циліндричні, а потім фігурні ролики. Гладкі ролики використовують для відділення ґрунтових домішок, фігурні – для розділення бульб картоплі на фракції. Якість сортування бульб на цьому пристрої висока, але защемлення картоплі є основний недоліком [7].

Для сортування бульб картоплі використовують також грохотні пристрої. Вони бувають двох видів – з нерухомими та рухомими решетами, з послідовним або паралельним їх розташуванням. Ворох картоплі, який розділяється на грохотних пристроях з нерухомими решетами рухається за рахунок кута нахилу решета та сили тяжіння. Нерухомі решета, які використовуються в цьому пристрої, мають незадовільну якість сортування. Рухомі решета – це пристрої з активним робочим органом. Рух є зворотньо-поступальним і напрямок співпадає з напрямком руху маси. Перевагою цього пристрою є порівняно висока точність сортування бульб картоплі, а недоліком – пошкодження картоплі на проволочених решетах та схильність до забивання чарунок решіт землею та рослинними домішками [5, 8].

Для сортування картоплі використовують барабани з нахилом геометричної вісі та барабан з шнековими направляючими навивками. Барабан складається з циліндричних решіт, розміри яких збільшується послідовно і паралельно у напрямку переміщення вороху. Сортувальні барабанні пристрої добре очищають ворох картоплі від домішок, циліндричні решета самі очищаються від ґрунту та рослинних залишків. В той час, як на робочих органах (роликах, решетах, та ін.), розташованих в одній площині, працює вся сортувальна поверхня, в барабані використовується тільки 12-16% його внутрішньої поверхні. Із-за цього є низька точність сортування і велике пошкодження картоплі [5, 8].

**Мета досліджень:** аналіз існуючих пристроїв для сортування бульб картоплі на фракції, підвищення ефективності процесу сортування, вибір напрямку по їх удосконаленню і розробка нового пристрою.

**Результати досліджень.** Аналізом досліджень сортування бульб картоплі встановлено, що перспективним напрямком підвищення його ефективності є вдосконалення взаємодії решітчастогвинтової поверхні сортувалок з бульбами картоплі, що дало можливість розробити нову конструкцію гвинтового класифікатора (рис. 1) [9]. Гвинтовий класифікатор (рис. 1) складається із живильного транспортера 1, приймального лотка 2, встановленого у середину гвинтової спіралі 3, в якій передній кінець виконаний розімкнутий, а задній відігнутий назад і виконаний у вигляді валу, а по зовнішній гвинтовій поверхні встановлені еластичні елементи 4 в вигляді щіток. Гвинтова спіраль 3 розташована в V-подібно встановлених напрямних сепарувальної решітки 5, які встановлені під кутом до горизонтальної поверхні. Це викликано тим, що необхідно погасити інерційну силу бульб картоплі, створену гвинтовою спіраллю, що дозволить більш якісно розділити бульби на фракції. Привід гвинтової спіралі 3 забезпечується зірочкою 6, а відсортована бульба картоплі збирається в пробовідбірнику 7.

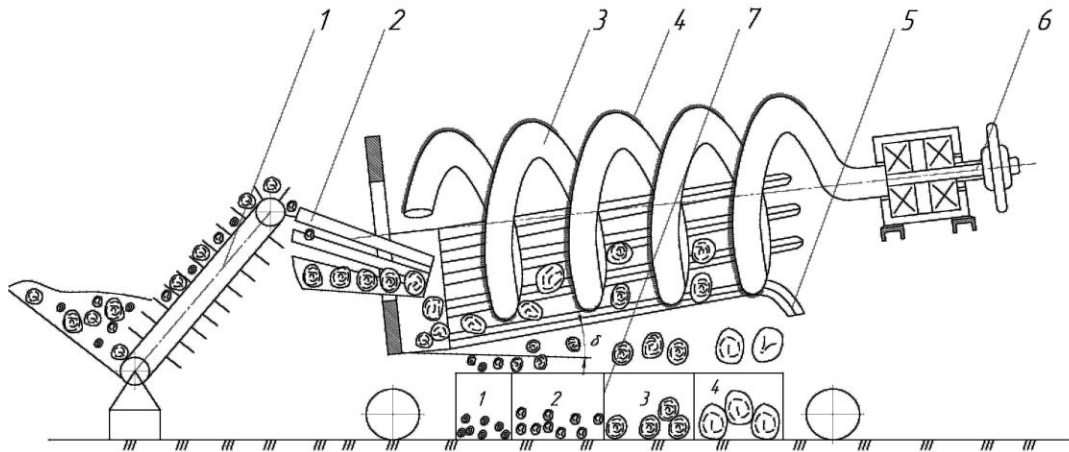


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема гвинтового класифікатора для сортування бульб картоплі: 1 – живильний транспортер; 2 – приймальний лоток; 3 – гвинтова спіраль; 4 – щітки; 5 – V-подібно встановлені напрямні сепарувальної решітки; 6 – привід гвинтової спіралі; 7 – пробовідбірники.

Сепарувальна решітка 5 виконана у вигляді частини циліндра з округлених напрямних 5 в верхній частині. Напрямні 5 V-подібно встановлені між собою з перемінним зазором, який збільшується у напрямку транспортування бульб картоплі гвинтовою спіраллю 3.

Принцип роботи гвинтового класифікатора для розділення бульб картоплі на фракцію відбувається наступним чином. Бульби картоплі рівномірно з живильного транспортера 1 подаються на приймальний лоток 2, який направляє його в середину гвинтової спіралі 3. Передній розімкнутий виток спіралі 3 проходить під приймальним лотком 2, плавно захоплює бульби, розосереджує її по ширині решітки 5 і переміщує в повздовжньому напрямку. На решітці 5 бульби картоплі орієнтуються в V-подібно встановлених напрямних і транспортуються в повздовжньому напрямку. Бокова внутрішня поверхня гвинтової спіралі 3 переміщує бульби по напрямних решітки 5 вгору і здійснюється її розділення на фракції з потраплянням в пробовідбірник 7. Еластичні елементи в вигляді щітки 4 очищають напрямні решітки і картоплю від ґрунтових домішок і також проштовхують бульби картоплі крізь V-подібно встановлені напрямні сепарувальної решітки, усуваючи тим самим їх забивання.

**Висновок.** В результаті аналізу конструкцій пристроїв для сортування бульб картоплі розроблений напрямок подальшого конструктивного удосконалення пристроїв з метою підвищення ефективності процесу сортування. Запропонована нова конструкція гвинтового класифікатора, яка дозволяє розділяти бульби картоплі на фракції без її пошкоджень.



## Список літератури

1. Оверчук П. В. Виробництво і використання картоплі у світі / П. В. Оверчук, М. М. Філоненко, О. В. Сидорчук // Картоплярство. – К.: Аграрна наука, 1997. – С. 210–216.
2. Листопад Г. Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г. Е. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1986. – 67 с.
3. Василенко П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: Издательство Украинская академия сельськохозяйственных наук, 1960. – 283 с.
4. Чаус В. М. Рабочие органы картофелеуборочных машин / В. М. Чаус. – М.: Машиностроение, 1966. – 81 с.
5. Арсеньев Д. А. Изыскания и исследования универсального рабочего органа для сортировки лука и картофеля: автореф. дис. канд. техн. наук / Д. А. Арсеньев. – М., 1972. – 24 с.
6. Колчин Н. Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н. Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 265 с.
7. Колчин Н. Н. Теоретические и экспериментальные основы создания комплекса машин для поточной послеуборочной обработки картофеля: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Н. Н. Колчин. – М., 1974. – 47 с.
8. Заворитный Н. М. Исследования процесса сортирования картофеля на грохотной щелевой поверхности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Н. М. Заворитный. – М., 1973. – 25 с.
9. Патент 65647 Україна, МВК В07В1/16, В07В1/20 Гвинтовий класифікатор / О. А. Дзюба, А. І. Дзюба, О. В. Козаченко (Україна). – №2001074964; заявл. 14.07.2001; опубл. 15.04.04, Бюл. № 4.

*Проведен анализ приспособлений для сортирования клубней картофеля и предложено направление по разработке новых конструкций. Приведено новое приспособление для сортирования клубней картофеля.*

***Картофель, сортировка, винтовой классификатор.***

*Analysis tools for sorting potatoes and directions for the development of new designs. Powered by a new device for sorting potatoes.*

***Potatoes, sorting, screw classifier.***

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРУКТУРИ ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

*Р. В. Антощенко, кандидат технічних наук  
А. Т. Лебедєв, доктор технічних наук*

*Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка*

*В роботі визначена ефективна структура посівного машинно-тракторного агрегату за рахунок дослідження математичної моделі його динаміки. Наведені результати розрахунку швидкостей елементів посівного агрегату та відхилення від прямолінійної траєкторії руху.*

*Математична модель, динаміка, трактор, бункер, сівалка.*

**Постановка проблеми.** Сільськогосподарські машинно-тракторні агрегати являють собою багатоелементні мобільні машини. Комбіновані посівні агрегати складаються із трьох елементів, таких як трактор, ємність для посівного матеріалу й сівалки, які рухаються послідовно один за одним [1]. Основні компоновальні схеми посівних агрегатів, у яких ємність і сівалка можуть міняти послідовність розташування [2] або ємність для посівного матеріалу може перебувати на тракторі й бути жорстко пов'язана з ним. Динаміка даних багатоелементних машин залишається недостатньо дослідженою.

**Аналіз останніх публікацій.** Для дослідження динаміки багатоелементних машинно-тракторних агрегатів застосовують принцип Д'аламбера-Лагранжу [3] або рівняння Лагранжу 2-го роду [4]. Існує робота [5] у якій рух мобільної машини вивчають разом з напівпричепом за допомогою рівнянь Лагранжу 1-го роду. Питання агрегування посівних агрегатів в залежності від його конструкції досліджено в роботі [2].

**Мета досліджень:** теоретичне дослідження просторової математичної моделі динаміки багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату.

**Результати дослідження.** На полях України одержали широке поширення комбіновані посівні машинно-тракторні агрегати виробництва John Deere (рис. 1).



Рис. 1. Комбінований посівний машинно-тракторний агрегат John Deere 8345R + John Deere 1890+ John Deere 1910.

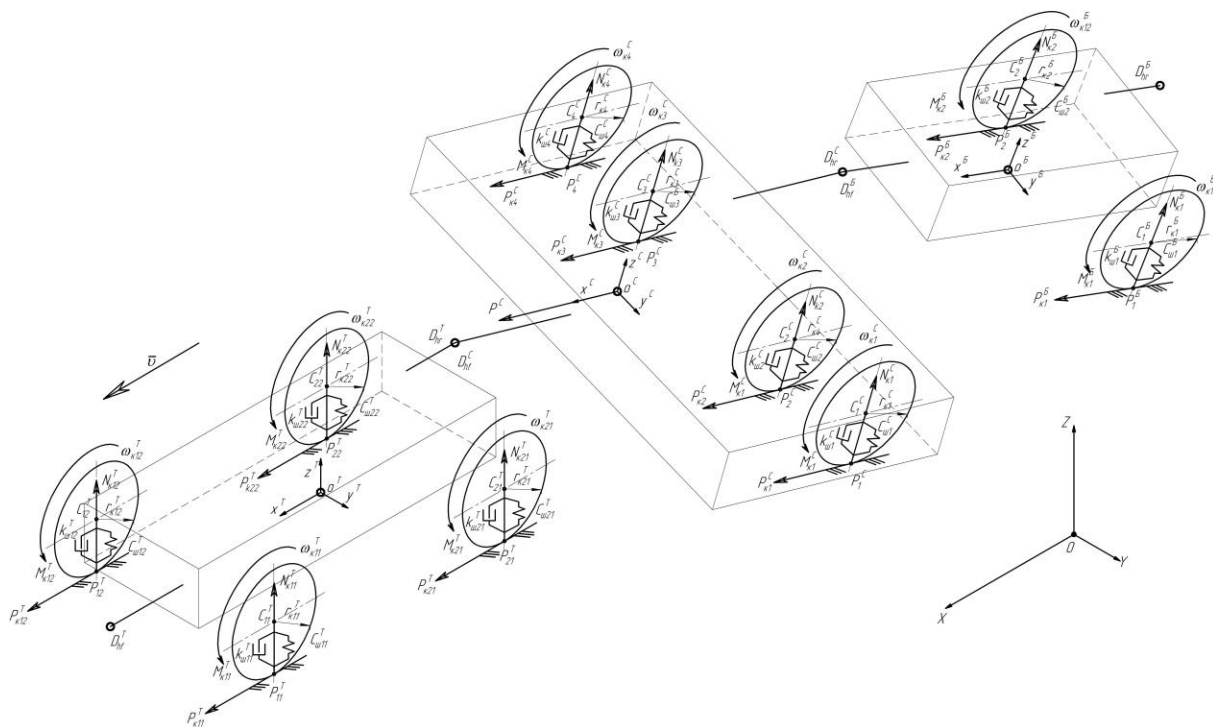


Рис. 2. Динамічна модель багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату.

Вибір оптимальних режимів руху й агрегування дозволяє вивчення їх динаміки. Для вирішення поставленого завдання, розглянемо просторову динамічну модель комбінованого посівного машинно-тракторного агрегату, яка представлена на рис. 2 і використовуємо наступні позначення:  $n$  – верхній індекс, що приймає значення  $T, B, C$  та вказує приналежність змінної елементу агрегату, відповідно трактору, бункеру, сівалці;  $XOYZ$  – глобальна система координат;  $xoyz^n$  – зв'язана система координат; т.  $o^n$  – центр мас; т.  $O$  – центр глобальної системи координат;  $\alpha, \beta, \gamma^n$  – кути повороту моделі навколо відповідних осей  $x, y, z$ ;  $m^n$  – маса елемента агрегату;  $J_x^n, J_y^n, J_z^n$  – приведені моменти інерції до відповідних до осей;  $\bar{v}$  –

поступальна швидкість руху;  $D_{hf}^n$ ,  $D_{hr}^n$  – переднє й заднє місця навішення (приєднання технологічного устаткування;  $P_{k_{ij}}^n$ ,  $M_{k_{ij}}^n$ ,  $N_{k_{ij}}^n$  – дотична сила тяги, момент і нормальна реакція на відповідному колесі агрегату;  $Cw_{ij}^n$ ,  $kw_{ij}^n$  – приведені жорсткість та піддатливості шин елементів агрегату. Для чисельного інтегрування системи загальних диференціальних рівнянь розглянемо алгоритми для їхнього перетворення до нормальної форми Коші в узагальнених координатах або псевдокоординатах [6]. Для голономних систем введемо вектори узагальнених прискорень і швидкостей –  $\mathbf{w} = \dot{\mathbf{v}} = \ddot{\mathbf{q}}$ ,  $\mathbf{v} = \dot{\mathbf{q}}$  та запишемо у вигляді:

$$\mathbf{M}\mathbf{w} = \mathbf{F}, \quad (1)$$

де:  $\mathbf{M} = \sum_{i=1}^n \{ \mathbf{W}_{C_i}^T m_i \mathbf{W}_{C_i} + \mathbf{W}_{\omega_i}^T [\bar{J}_i] \mathbf{W}_{\omega_i} \}$  – матриця інерції системи,  $\mathbf{F}$  – вектор-матриця узагальнених сил системи за винятком доданків з інерційних членів лівої частини, що не містять узагальнених прискорень, який можна одержати, підставивши в аналітичні вирази рівнянь руху рівні нулю псевдоприскорення та взявши результат зі зворотним знаком, тобто [6]:

$$\mathbf{F} = -\mathbf{U}|_{\ddot{\mathbf{x}}=0}.$$

Після вирішення системи (1) щодо узагальнених прискорень –  $\mathbf{w} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{F}$ , остаточно одержимо СЗДУ у формі Коші для неголономних систем:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{G}\mathbf{v} + \mathbf{g} \\ \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{F} \end{cases} \quad (2)$$

Початковими умовами для системи будуть значення узагальнених координат і незалежних узагальнених швидкостей (псевдошвидкостей) у початковий момент часу:

$$\mathbf{q}|_{t=0} = \mathbf{q}_0, \quad \mathbf{v}|_{t=0} = \mathbf{v}_0.$$

Динамічна модель багатоелементного комбінованого машинно-тракторного агрегату (рис. 2) має вісім узагальнених координат, тобто вісім ступеней свободи:

$$\dot{\mathbf{q}} = [X^T, Y^T, Z^T, \beta^T, \alpha^C, \beta^C, \alpha^B, \beta^B]^T. \quad (3)$$

У якості незалежних координат із залежними варіаціями обрані:

$$\dot{\mathbf{v}} = [\alpha^T, \gamma^T, \varphi_{11}^T, \varphi_{12}^T, \varphi_{21}^T, \varphi_{22}^T, \gamma^C, \varphi_1^C, \varphi_2^C, \varphi_3^C, \varphi_4^C, \gamma^B, \varphi_{11}^B, \varphi_{12}^B]^T. \quad (4)$$

Математична модель динаміки багатоелементного МТА має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{X}^T = f_1(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{Y}^T = f_2(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{Z}^T = f_3(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \beta^T = f_4(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\alpha}^C = f_5(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\beta}^C = f_6(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\alpha}^B = f_7(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}); \\ \dot{\beta}^B = f_8(\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}), \end{array} \right. \quad (5)$$

де:  $f_i$  – функції від векторів-матриць  $\mathbf{G}, \mathbf{g}, \mathbf{M}, \mathbf{F}$ ;  $i = 1, \dots, 8$  – порядковий номер узагальненої координати.

Рівняння незалежних координат із залежними варіаціями мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\alpha}^T = \frac{a^T \dot{X}^T + b^T \dot{Y}^T + c \dot{Z}^T - \beta^T (d^T \cos \gamma^T + \sin \gamma^T)}{\cos \gamma^T - d^T \sin \gamma^T}; \\ \dot{\gamma}^T = \alpha^T \beta^T + v B_x^T \frac{\operatorname{tg} \gamma^T}{l^T}; \\ \dot{\phi}_{11}^T = \frac{v C_{11xy}^T}{Z_{C_{11}}^T}; \quad \dot{\phi}_{12}^T = \frac{v C_{12xy}^T}{Z_{C_{21}}^T}; \\ \dot{\phi}_{21}^T = \frac{v C_{21xy}^T}{Z_{C_{21}}^T}; \quad \dot{\phi}_{22}^T = \frac{v C_{22xy}^T}{Z_{C_{22}}^T}; \\ \dot{\gamma}^C = \frac{v \gamma A^C}{l_1^C - h f_x^C} + \alpha^C \beta^C; \\ \dot{\phi}_1^C = \frac{v C_{1x}^C}{Z_{C_1}^C}; \quad \dot{\phi}_2^C = \frac{v C_{2x}^C}{Z_{C_2}^C}; \\ \dot{\phi}_1^C = \frac{v C_{3x}^C}{Z_{C_3}^C}; \quad \dot{\phi}_4^C = \frac{v C_{4x}^C}{Z_{C_4}^C}; \\ \dot{\gamma}^B = \frac{v \gamma A^B}{l_1^B - h f_x^B} + \alpha^B \beta^B; \\ \dot{\phi}_1^B = \frac{v C_{1x}^B}{Z_{C_1}^B}; \quad \dot{\phi}_2^B = \frac{v C_{2x}^B}{Z_{C_1}^B}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Розглянемо результати теоретичних досліджень математичної моделі динаміки комбінованого машинно-тракторного агрегату на прикладі агрегату John Deere 8345R + John Deere 1840 + John Deere 1910 (трактор-сівалка-бункер) та порівняємо з результатами дослі-

дження динаміки МТА при агрегуванні в послідовності трактор-бункер-сівалка. Результати моделювання та порівняння наведені на рис. 3, рис. 4.

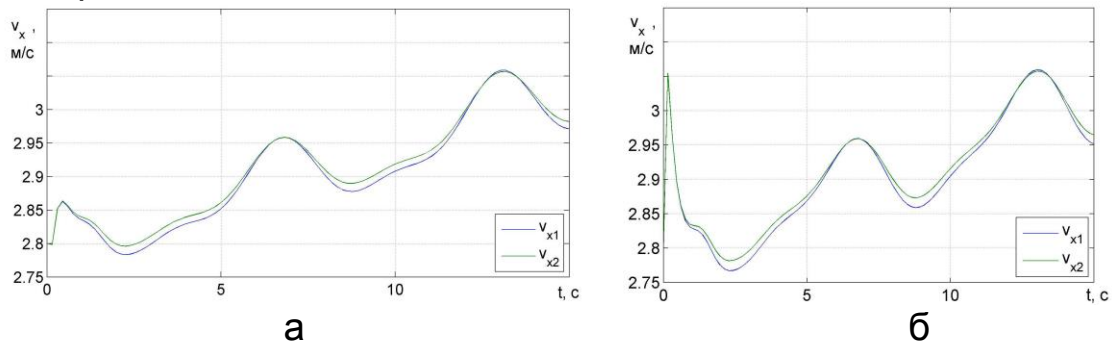


Рис. 3. Поступова швидкість центру мас бункеру ( $v_{x1}$ ) та сівалки ( $v_{x2}$ ) при агрегуванні трактор-бункер-сівалка (а) та трактор-сівалка-бункер (б).

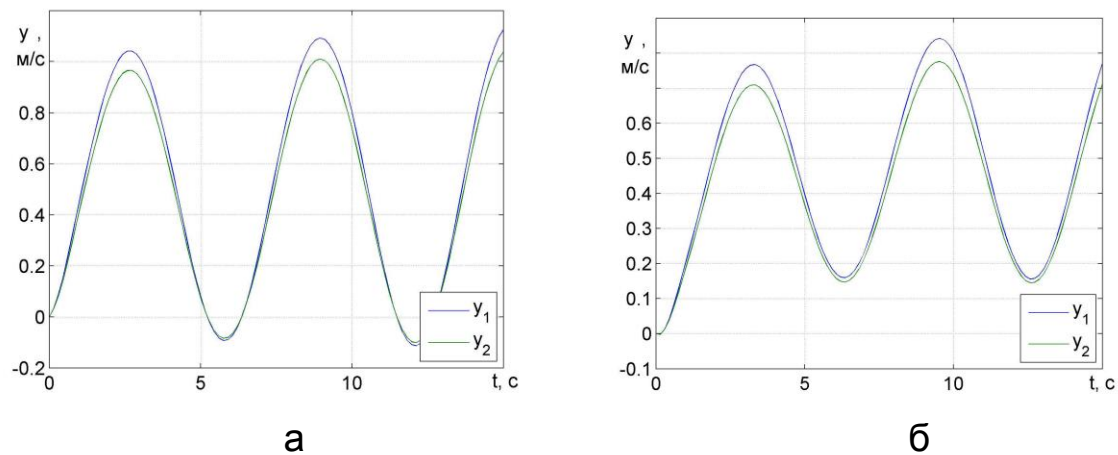


Рис. 4. Відхилення центрів мас центру мас бункеру ( $y_1$ ) та сівалки ( $y_2$ ) при агрегуванні трактор-бункер-сівалка (а) та трактор-сівалка-бункер (б).

Поступові швидкості елементів агрегату (рис. 3) для схеми агрегування трактор-сівалка-бункер нижче на 5 % ніж для схеми трактор-бункер-сівалка. Відповідно, розмах коливань відхилень елементів МТА від прямолінійної траєкторії нижче (рис. 4). Це призводить до зниження витрат енергії на рух агрегату та виконання технологічної операції та зменшенню витрати палива на 3-5 %.

### Висновки

1. Запропонована методологія дослідження динаміки багатоеlementних агрегатів дозволяє в короткий термін порівнювати динамічні показники їх функціонування та схеми агрегування і робити висновки, щодо ефективності використання.

2. Агрегування посівних комплексів John Deere 8345R + John Deere 1840 + John Deere 1910 за схемою трактор-сівалка-бункер в

окремих випадках дозволяє знизити миттєві швидкості елементів агрегату на 5% та знизити розмах коливань відхилень елементів МТА від прямолінійної траєкторії.

3. Зниження динамічних показників МТА призводить до зниження витрат енергії на рух агрегату та виконання технологічної операції та зменшенню витрати палива на 3-5 %.

### Список літератури

1. Антощенко Р. К определению кинематических связей, углов и скоростей колёс пространственной математической модели движения многоэлементного машинно-тракторного агрегата [Текст] / Р. Антощенко, А. Лебедев, В. Толстолицкий // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Vol. 17, №7 – 2015. – Lublin. – С. 11–16.
2. Красовских В. С. Результаты исследования почвообрабатывающего посевного тягово-транспортного агрегата [Текст] / В. С. Красовских, Н. Н. Бережнов // Вестник АГАУ. 2007. – С. 57–62.
3. Adamchuk V. Study plane-parallel motion movement combined seeding unit / V. Adamchuk, I. Petrychenko, M. Korenko, H. Beloev, B. Borisov // III International scientific and technical congress agricultural machinery. Proceedings. Varna. 2015. – Vol. 1. – P. 7–11.
4. Liljedahl J.B., Turnquist P.K., Smith D.W. and Hoki M. Tractors and Their Power Units / ASAE, St. Joseph. – 1996. MI. – P. 345–361.
5. Chieh C. Dynamic modeling of articulated vehicles for automated highway systems / In Proceedings of the American Control Conference, Seattle, USA. 1996. – P. 653–657.
6. Антощенко Р. В. К построению уравнений динамики мно-гоэлементного машинно-тракторного агрегата / Р. В. Антощенко, Л. Н. Тищенко, Ю. М. Андреев // Вибрации в технике и технологиях. – Винница. – 2015. – №3(79). – С. 69–79.

В работе определена эффективная структура посевного машинно-тракторного агрегата за счет исследования математической модели его динамики. Приведенные результаты расчета скоростей элементов посевного агрегата и отклонения от прямолинейной траектории движения.

**Математическая модель, динамика, трактор, бункер, сеялка.**

*The paper identified an effective structure of sowing tractor unit due to the mathematical model study its dynamics. The results of calculation speeds elements sowing aggregate and deviations from the straight trajectory.*

**Mathematical model, dynamics, tractor, hopper, seeder.**

**RATING TEACHERS AND STRUCTURAL DIVISIONS  
OF NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE (NULES)**

***Anatoliy V. Shostak, Professor***

*In paper the questions of application of rating the quality of professional work of teachers, departments and faculties of the university. The author offers specific examples scientifically based and original model for calculating the ranking of subjects of scientific and educational activities of the university and its structural divisions. This article can serve as a methodological guide for the development and implementation of the activities of the rating evaluation of the quality of the teaching staff.*

*It is recommended that managers and professionals involved in the problems of quality assessment in higher vocational education.*

***Rate, teacher, teaching load, standards, types of work, rates, wages, base salary, motivation.***

Rating determination of research and educational workers, structural divisions and an institution of higher education as a whole is a complicated and very important problem. The National Agrarian University for example is the IV accreditation level institution of higher education, it contains following 8 educational and research institutes (ERI):

- natural and humanitarian;
- plant growing, soil science and ecology;
- animal breeding and water biological resources;
- veterinary medicine, quality and safety of products manufactured in agrarian-industrial complex;
- business;
- technical
- forestry and landscape-gardening;
- land resources, science of law and pedagogics.

There are also the institute of postgraduate education and the military faculty.

There are 128 sub-faculties in above-mentioned ERIs, they are united into 30 educational and research centers (ERC) in accordance with their profiles. Task-level and research laboratories earlier dispersed are united into 7 research institutes (RI) being parts of ERIs. 18 faculties are parts of the NULES's ERIs, where the training in 15 specialties and

© Anatoliy V. Shostak, 2015



40 specializations are carried out. Regional Berezhansk and Nizhyn Agricultural Engineering Institutes (III accreditation level) as well as Irpin, Zalischiky, Nemishaievo Agrarian Colleges and Boyarka Agricultural Secondary School are structural divisions of the NULES. The training is executed according to the following educational and skill levels: bachelor, specialist and master. The training's forms are: internal training, instruction by correspondence, education with examinations without attending lectures and distance studies.

The method of rating estimation for acting subjects developed in the NULES (by Ass. Prof. A.V. Shostak) permits to estimate the quality of teaching-educational process with the help of quantitative indexes (criteria). *It permits not only to estimate, but to optimize process' organization, improve the management and labor motivation, determine the place of given educational institute among institutes of the same profile in any field of education. This is the main aim of the developed method.* Unfortunately, the work quality of structural divisions as well as single workers can be formalized not always. As for the teaching staff, the estimation criteria for their work results are based on provision "On planning and taking into account of the loan of research and educational workers of the NULES", are consistent with the NULES's Statute and job descriptions.

At the same time the main drawback of all known methods is the fact that aspiring to the objectivity and maximum consideration of various factors, developers are creating excessively cumbersome and inconvenient methods overburdened by large quantity of questionnaires, forms, rating-lists, formulas and other accompanying documentation. This always arouses an inner protest and aversion from the direction of direct performers: *to estimate any work according to such criteria is more difficult than to perform the work itself. Such methods already do not service any basic activity for its optimizing but themselves are separate kind of activity.* But the following question is arising: Who needs it and why?

The method developed and realized in the NULES had passed good and frequentative expertise, and has solid normative and lawful foundations. We have deviated from the system based on a count of cores, what is the base of almost all existing methods.

Our method is unique in Ukraine today and permits to formalize the teaching-scientific-educational process in an institute of higher education to the maximum, and at the same time it is sufficiently *objective and easy used as well as its results have single meaning.*

**Problem definition.** Tasks, with which higher agrarian educational institutes face under present-day close economical and socio-political conditions, require not only structural and management changes, but the

improvement of the quality of educational process: to overcome ingrained stereotypes and introduce recommendation of agrarian-pedagogical science into teaching activity. What is the heart of the problem?

Firstly, accepting and mastering new pedagogical ideas and educational technologies of their application by the teaching staff as well as generalizing huge existing experience (both native and foreign) of introducing agrarian-pedagogical science in practice.

Secondary, passing from spontaneous and *weakly controlled* application of major achievements agrarian-pedagogical science by the teaching staff to introduction of its recommendations as a *controlled process*. The rating is the serious instruments of this process.

The stated problem has taken on special urgency in connection with entering the National Agrarian University into the Global Consortium of Institutions of Higher Agrarian Education and Researches in Rural Economy. Rector of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Academician of the Russian Academy of Education S.M. Nikolayenko set a goal to develop a mythology that should motivate of research and educational workers.

*Kinds of activity and effectiveness criteria for teaching work.* As it was mentioned the humanitarian nature of teaching-educational and scientific activity is influenced the formalization very difficulty. The developed method allows to represent quality criteria of such activity by means quantitative indexes (coefficients). It is known that in these latter days the method of educational process estimation was being reduced to the level of qualitative criteria research. The research of quantitative estimation criteria for different aspects of scientific-teaching-educational process, which gives objective information on advantages and disadvantages of educational institute's activity, is the necessity prerequisite for improving its work. Therefore we will attempt to see and derive some quantitative indexes (criteria) through the prism of qualitative indexes. In other words, we will attempt to formalize the humanitarian activity with the purpose to estimate objectively the working efficiency of the institute of higher education, its divisions and individual instructors.

In accordance with provision\* "On planning and taking into account of the loan of research and educational workers of the NULES" approved by the rector, the budget share of salary consists of remuneration for 5 kinds of works, namely: educational, research, introduction, methodological, and cultural and educational. The same concerns also the individual plan of an instructor, for whose fulfillment he or she shall give a report at the end of the year. The annual time budget of a research and educational worker (REW) is equal to 1,548 hours (258 6-

hour working days). As it is known, all things shall be cognized in the comparison: the ratio of quality, which we have, to the quality, which we would like to have (normative). The numerical determinant of this ratio is *a coefficient*. And so *the essence of the method is reduced to determine coefficients, what describes the teaching-scientific-educational process and its subjects*. With this purpose the following quantitative indexes or basic criteria for the scientific-teaching-educational process are proposed:

Coefficient of teaching work fulfillment:

$$K_{\text{tch}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{T_{\text{tch}}}, \quad (1)$$

where: *i* is the kind of fulfilled teaching work; *n* is the number of teaching work kinds (can be changed every year);  $\Sigma$  is the sum of all kinds of fulfilled teaching work;  $t_s$  is the standard time necessary to fulfill the separate teaching work, hours;  $T_{\text{tch}}$  is the planned (budget) share of the teaching work, which shall be fulfilled by the instructor during the *academic year*, hours (at the present time it is equal to 900 hours, 58 % of 1548 hours).

Coefficient of scientific work fulfillment:

$$K_{\text{sci}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{T_{\text{sci}}}, \quad (2)$$

where: *i* is the kind (name) of fulfilled scientific work; *n* is the number of scientific work kinds (can be changed periodically);  $\Sigma$  is the sum of all kinds of fulfilled scientific work;  $t_s$  is the standard time necessary to fulfill the separate scientific work, hours;  $T_{\text{sci}}$  is the planned (budget) share of the scientific work, which shall be fulfilled by the instructor during the *calendar year*, hours (at the present time it is equal to 200 hours, 13 % of 1548 hours).

Coefficient of introduction of the achievements of scientific and technological progress to production:

$$K_{\text{intr}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{T_{\text{intr}}}, \quad (3)$$

where: *i* is the kind (name) of fulfilled introduction work; *n* is the number of introduction work kinds, work concerning introduction of state budget and contract scientific developments to production (can be changed every year);  $\Sigma$  is the sum of all kinds of fulfilled introduction work;  $t_s$  is

the standard time necessary to fulfill the separate introduction work, hours;  $T_{intr}$  is the planned (budget) share of the application work, which shall be fulfilled by the instructor during the *calendar* year, hours (at the present time it is equal to 140 hours, 9 % of 1548 hours).

Coefficient of scientific-methodical work fulfillment:

$$K_{sm} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{T_{sm}}, \quad (4)$$

where:  $i$  is the kind (name) of fulfilled scientific-methodical work;  $n$  is the number of fulfilled scientific-methodical work kinds (depending on put problem can be changed every year);  $\Sigma$  is the sum of all kinds of fulfilled scientific-methodical work;  $t_s$  is the standard time necessary to fulfill the separate scientific-methodical work, hours;  $T_{sm}$  is the planned (budget) share of the scientific-methodical work, which shall be fulfilled by the instructor during the *academic* year, hours (at the present time it is equal to 170 hours, 11 % of 1548 hours).

Coefficient of cultural and educational work fulfillment:

$$K_{ce} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{T_{ce}}, \quad (5)$$

where:  $i$  is the kind (name) of fulfilled cultural and educational work;  $n$  is the number of fulfilled cultural and educational work kinds (depending on present-day requirement can be changed every year);  $\Sigma$  is the sum of all kinds of fulfilled cultural and educational work;  $t_s$  is the standard time necessary to fulfill the separate cultural and educational work, hours;  $T_{ce}$  is the planned (budget) share of the scientific-methodical work, which shall be fulfilled by the instructor during the *academic* year, hours (at the present time it is equal to 138 hours, 9 % of 1548 hours).

The increase or decrease of the weight of every of 5 load kinds is provided for by provision "On planning and taking into account of the loan of research and educational workers of the NULES", but the total load summed through all kinds of activity shall be no less than 1548 hours, i.e. shall be equal to the annual time budget. For example an instructor successfully fulfills scientific work, introduces its results and reports soundly assuming on 700 hours instead of 200 and 140 hours, respectively. In that case the sub-faculty shall decrease his or her load by corresponding quantity of hours of other activity kinds. As the general estimation criterion for instructor's activity during a year *the general coefficient* ( $K_{gen}$ ), which is the ratio of sum of all kinds of fulfilled work (hours) to the standard (planned) one:

$$K_{gen} = \frac{T_{tch} + T_{sci} + T_{intr} + T_{sm} + T_{ce} + T_{oth}}{T_s} \geq 1 \leq 2 \quad (6)$$

This coefficient corresponds exactly the degree of fulfillment and overfulfillment of the planned load by a research and educational worker, it falls in the range from 80 % ( $K_{gen} = 1.00$ , i.e. total annual load is equal to 1548 hours) to 100 % ( $K_{gen} = 2.00$ , i.e. total annual load is equal to 3096 hours) of higher salary of such post. When  $K_{gen} < 1$  (i.e. less than 1548 hours is fulfilled) the well-reasoned explanation shall be submitted into the office of the head of studies of the institute.

Fig. 1 shows the geometrical interpretation of set forth method. Of course, shown *limits and volume* of the activity kinds have enough relative, reference character. In essence, they are norms. In reality the weight of each activity kinds can change, what is reflected in individual plans of instructors.

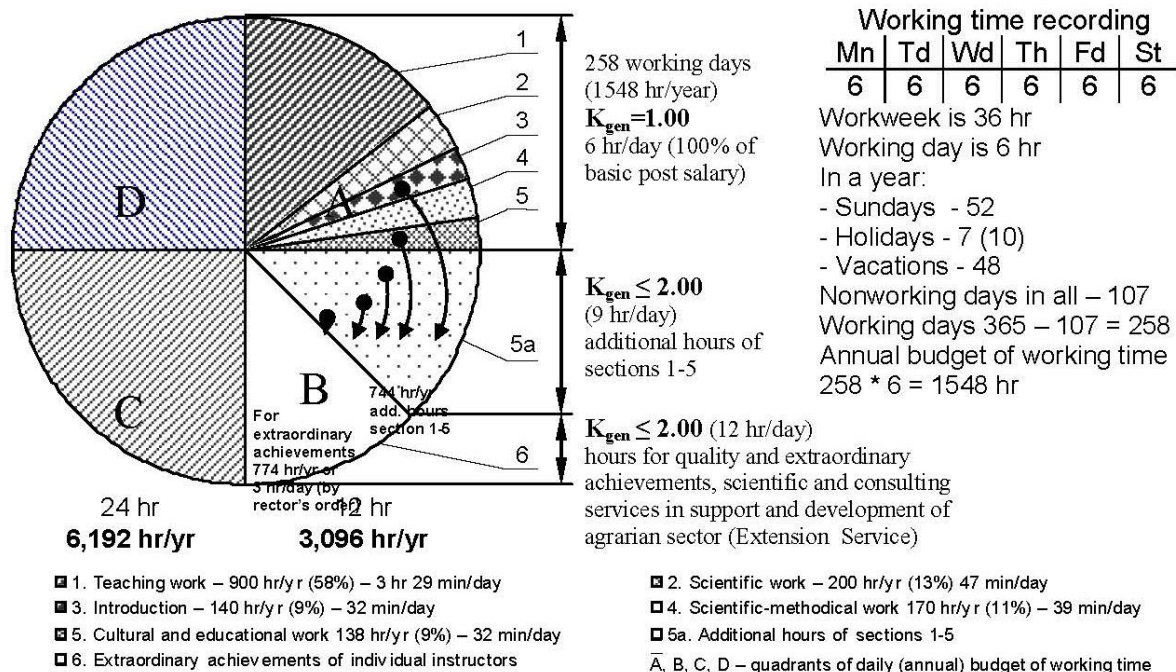


Fig. 1. Standard time calculation according to work kinds for REWs of the NULES.

The list of main activity kinds of research and educational workers of the NULES together with components of their salary is shown in Fig. 2 (see also quadrant A in Fig. 1, when  $K_{gen}$  is 1.00).

*Generalization of results.* Annual estimation of results of teaching staff's and structural divisions' activity have conducted in the NULES from 1997. From 2001 the diversified remuneration of labor are paid within the limits of 20 % of higher salary in accordance with individual coefficients. It shall be noted that only 11.6 % REWs of the NULES have

$K_{gen} = 1.75-2.00$ . And only 5 % of members of the staff have maximum value,  $K_{gen} = 2.00$  (see Fig. 3). It is not the result of steep demands but the result of objective approach to estimating the teaching labor. Considering the fact that the committee created specially has to work thoroughly with original (primary) materials incoming from sub-faculty, since a temptation can arise to submit overstated and data not confirmed by documents.

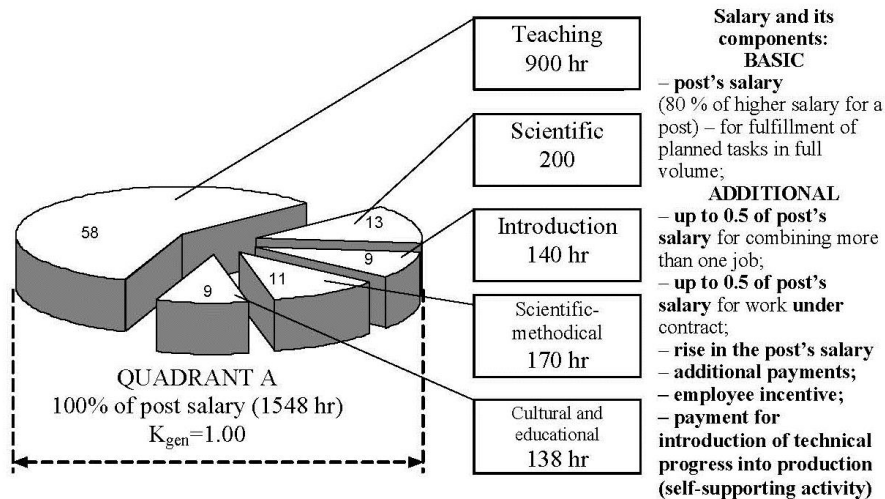


Fig. 2. List of basic activity kinds and components of salary of REWs of the NULES.

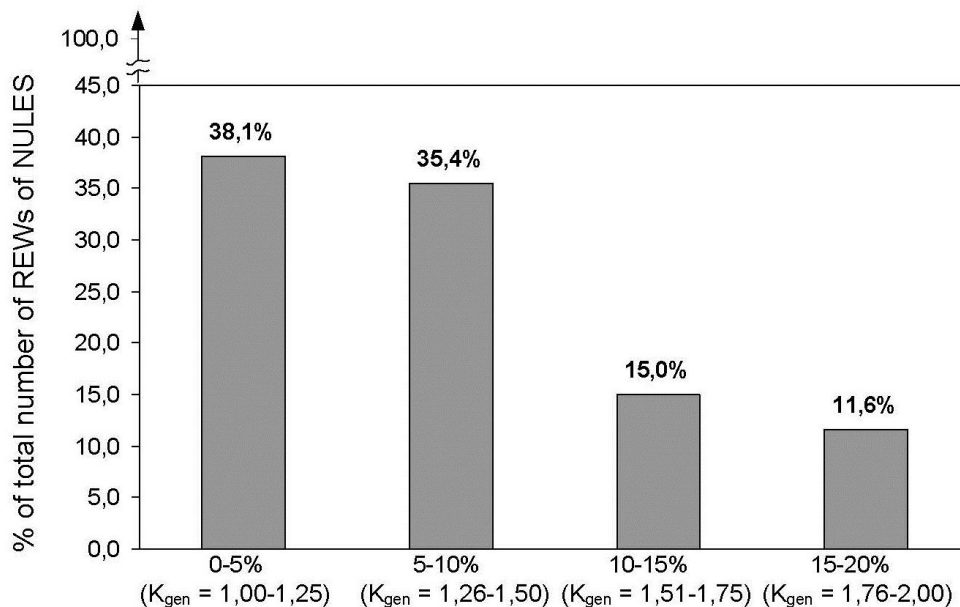


Fig 3. Distribution histogram for increase of post salaries of research and educational workers of NULES according to rating results for the year of 2012.

The system stimulates such activity kinds, which overstep the limits of direct functional duties listened in job descriptions. Every year,

estimation of results of all activity kinds is carried out before December 25.

The activity of sub-faculties having  $K_{gen} < 1.00$  is subjected to comprehensive analysis. Causes are determined, necessary methodical and material aid is granted, weaknesses are pointed, organizational decisions are reached as well as other measurements concerning reinforcement and stabilization of their work are taken. Similar approach is used as for the teaching staff.

The ratings of ERI' of the NULES obtained according to general coefficient  $K_{gen}$  for the year 2012 are shown in Fig. 4. To analyze the situation, similar histograms was drafted for each kind of activity with taking into account all coefficients:  $K_{tch}$ ,  $K_{sc}$ ,  $K_{intr}$ ,  $K_{sm}$ ,  $K_{ce}$  and  $K_{oth}$ .

In case the rating committee detects any false additions, a respective instructor (sub-faculty) shall be displaced from the rating process, i.e. he or she will have  $K_{gen} = 1.00$ .

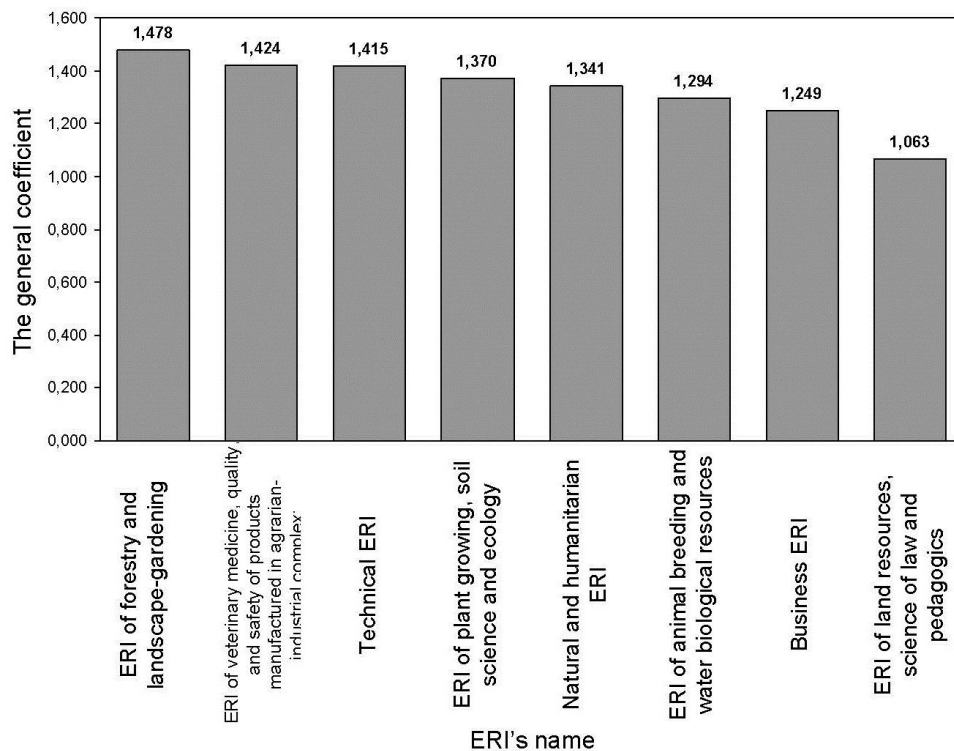


Fig. 4. General ratings of ERIs of the NULES for the year of 2012 (according to the generalized coefficient).

The questions of activity estimation and stimulation have been solved not only for member of the staff, but for persons, who hold more than one office. It concerns all such persons both those, whose main office is in the NULES, and those, who are workers of other establishments, institution, companies and so on, including the foreign ones. The maintenance staff of the sub-faculties also was not forgotten

(laboratory managers, teaching masters, methodologists and others): additional salary payments to them were made in accordance with the rating of respective sub-faculty. The *separate* method was developed for activity estimation and rating determination of members of staffs of research institutes; there are 7 such institutes in the NULES. But this is not the subjects of this paper.

When the method of activity estimation for instructors and structural divisions was created, the question on *its adaptation to the specific* of several sub-faculties was solved. The activity of colleagues connected with taking out patents and inventor's certificates for example are typical only for sub-faculties of technical profile. And inclusion of similar index in evaluation method for humanitarian profile sub-faculties such as sub-faculties of Ukrainian, German and French languages, philosophy, culture science and other seems dubious. The necessity to *formalize* the evaluation methods is one more aspect of its adaptation. With that purpose the software support for above method was developed (under the direction of Prof. I. I. Melnyk), which permits to realize the rating calculation scheme in the form suitable for data processing by an application program and storage in a database. The editing program of rating calculation schemes permits to "assemble" or modify it by the direct-manipulation method: to move the work index into the integral index and move integral indexes into indexes corresponding to activity kinds. A number of technical problems were detected, which were connected with the necessity to create comfort environment for a user, and which shall be solved in the course of *preparation to the system to replication of code*. In order that the program can work, *Windows 95/98/2000/* and professional version of *Microsoft Office* containing *Access 97/2000* and all other latest versions of its which shall be installed on the computer.

*Outlook of system's implementation.* In accordance with Article 58 of Law of Ukraine "On education" and Provision "On measures of winners' incentive", the rating estimation of activity of the NULES' staff permits to apply various forms of incentives to such REWs and managers of divisions, who will occupy higher rating places: to be recommended for awards of the President of Ukraine – orders or decorations, to receive honorary titles; to be granted scientific ranks, promotion, awarding prizes, additions to salary, to be awarded by diplomas, prolonging the contract for the next period and other kinds of material and moral incitements. It is effective instrument for the manager, who has *direct feedback* with every of subjects of the university's activity. The developed system can completely adapted to estimate activities of other universities in other field.

*Conclusion.* So, which criterion shall the set forth method satisfy?



Criterion 1. Simplicity of setting forth. The methods is understandable, many times approved, accepted by performers, executed at enough high level, has references and is based on the experience of predecessors and colleagues. There are “through” recommendations and the limits of its application are marked from the problem’s definition to its solution.

Criterion 2. Novelty of method. In this case the “novelty” of method is understood both as the non-evidence of its recommendation to a specialist and as the complexity of solved problems. The novelty at *emotional* level “shakes” and shows new points of view on known events. The presence of the novelty at *methodical* level is evident, it enable to foresee estimated phenomena.

Criterion 3. Instrumentality of methods. The method is not reduced to emotional appeals and nonconstructive criticism of analogues. A number of real-world problems already have been solved in the NULES. It would be difficult to solve them without this method. This is very important fact that the method can work not only in “author’s performance”. It is more effective than other known methods and contains warnings about typical errors of a user, who works with it. The method permits to set problems and obtain one or several interconnected solutions, which are not obvious for a user without the method’s help, i.e. the method is *practically feasible*.

Criterion 4. Expenses of users connected with method. To use efficiently the method, it is necessary to spend some additional time and means, author’s consultations are necessary too. After explaining actually all instructors have mastered minimally the method.

Criterion 5. Aims of authors (auxiliary criterion). The authors were not impelled by the wish to satisfy their vainglory or receive money. The stimulus consisted in the wish and ability to hand over the development to colleagues at worthy scientific level with the purpose to continue investigations and solutions of new problems as well as to use the method as instrument to create a new generation method with coming at independent creative level.

Moreover. The method assists the idea to conduct sufficient decentralization, i.e. to devolve separate operating levers of money flow and main kinds of activity to lower management levels, which provide decision making, and more professional execution of some decisions.

## References

1. *Melnychuk D. O.* Method of labor effectiveness estimation for research and educational workers and structural divisions in the national agrarian university of Ukraine / *D. O. Melnychuk, A. V. Shostak* // Научный вестник Национального аграрного университета. – К., 2004. – Вып. 73. – С. 17–27.
2. *Melnychuk D. O.* Technique of formalization of scientific and pedagogical activity at National agrarian university / *Melnychuk D. O., Shostak A. V., Tsurpal I. A.* // (DSR AM -1), Динамика, прочность и надежность сельскохозяйственных машин: Пр. 1-

- й Международной научно-технической конференции 4-7 октября 2004 г., Тернополь (Украина) / Отв.ред. В. Т. Трощенко. – Тернополь: Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, 2004. – С. 576–584.
3. *Методика* определения рейтинга структурных подразделов высшего учебного заведения, преподавателей и сотрудников за критериями качества учебно-воспитательного процесса : методическое пособие / [Мельничук Д. О., Шостак А. В., Ибатуллин И. И. и др.]. – К.: Издательство НАУ, 1998. – 41 с.
4. Рейтинг субъектов деятельности Национального аграрного университета Украины. Федеральный образовательный портал России / Мельничук Д. А., Ибатуллин И. И., Шостак А. В. // Университетское управление: практика и анализ. – 2004. – № 3(31). – С. 44–58. Доступ: <http://ecsocman.hse.ru/univman/msg/212780.html>.
6. *About system criteria development and coefficients calculation for an estimation of agrarian-educational lecturers yearly performance* / Dmytro Melnychuk, Volodymyr Buldakov, Anatoly Shostak // *Motoryzaiija i energetyka rolnictwa*. – Lublin, 2006. – Т. 8. – Р. 138–148.
7. *Оценка качества высшего образования: зарубежный опыт : методическое пособие* / [Артемьева Т. В., Громова Л. А., Тимченко В. В., Трапицын С. Ю., Пискунова Е. В., Шарри Т. Г. ; под ред. С. М. Шилова]. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2007. – 163 с.
8. *Руководство по применению стандарта ISO 9001:2000 в области обучения и образования*. Пер. с англ. А. Л. Раскина. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2002. – 56 с.
9. *Тимченко В. В. Методика реализации проекта системы менеджмента качества в вузе. Программа повышения квалификации* / В. В. Тимченко. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2008. – 127 с.

*У статті розкриваються прикладні питання рейтингової оцінки якості професійної діяльності викладачів, кафедр і факультетів вузу. Автор на конкретних прикладах пропонує науково обґрунтовану і оригінальну модель розрахунку рейтингу суб'єктів науково-педагогічної діяльності університету та його структурних підрозділів. Дана стаття може служити в якості методичного посібника з розробки та впровадження системи рейтингового оцінювання якості діяльності професорсько-викладацького складу. Рекомендується керівникам та фахівцям, які займаються проблемами оцінки якості в системі вищої професійної освіти.*

***Рейтинг, викладач, педагогічне навантаження, нормативи, види робіт, коефіцієнти, заробітна плата, базовий посадовий оклад, мотивація***

*В статье раскрываются прикладные вопросы рейтинговой оценки качества профессиональной деятельности преподавателей, кафедр и факультетов вуза. Автор на конкретных примерах предлагает научно обоснованную и оригинальную модель расчета рейтинга субъектов научно-педагогической деятельности университета и его структурных подразделений. Данная статья может служить в качестве методического пособия по разработ-*

*ке и внедрению системы рейтингового оценивания качества деятельности профессорско-преподавательского состава. Рекомендуется руководителям и специалистам, занимающимся проблемами оценки качества в системе высшего профессионального образования.*

***Рейтинг, преподаватель, педагогическая нагрузка, нормативы, виды работ, коэффициенты, заработная плата, базовый должностной оклад, мотивация***

УДК 62-192÷621

## **ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ І ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРИ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ВІДМОВАХ**

***О. С. Гринченко, доктор технічних наук  
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка***

*Розглянуто загальний підхід до вирішення проблеми побудови інвертуємих стохастичних моделей механічної надійності у випадку параметричних деградаційних відмов. Запропоновані методи ілюструються реальним прикладом прогнозування довговічності при зношуванні.*

***Деградаційна відмова, прогнозування надійності, стохастична модель.***

**Постановка проблеми.** Параметричні деградаційні відмови, які проявляються в процесі експлуатації мобільних машин, в основному відносяться до категорії часткових, тобто таких, які відразу після виникнення не призводять до неможливості функціонування об'єкта, але порушують його працездатність. Прикладами параметричних відмов у машинах є різні розрегулювання, ослаблення затягування різьбових з'єднань; численні відмови, обумовлені зношуванням сполучень та ін. Кожнатака відмова пов'язана з виходом одного або декількох параметрів стану об'єкта за межі, встановлені нормативно-технічною документацією. У силу специфіки параметричних відмов при зазвичай використовуваному в практиці прискореної оцінки надійності дискретному контролі параметрів точно зафіксувати моменти їх виходу на граничний рівень, як правило, не вдається. Крім того, при широко поширеному способі збору інформації методом одноразових обстежень партії машин в експлуатації і, особливо

© О. С. Гринченко, 2015

на ремонтних підприємствах, попарна відповідність між величинами параметра та напрацювання при контролі не завжди може бути встановлено. Статистичні дані в цьому випадку являють собою відповідні один одному вибірки попарно не пов'язаних між собою значень параметрів і напрацювання. При наявності таких даних побудова та оцінка параметрів прогнозуючих моделей надійності не може бути виконана традиційними для прикладної статистики регресійними методами і вимагає спеціального аналізу.

Проблема прискореної оцінки і прогнозування надійності елементів машин при параметричних відмовах не вичерпується питаннями вдосконалення методів статистичного аналізу дискретних даних із зазначеними вище особливостями. Не менш важливі питання комплексного використання при прогнозі результатів випробувань дослідних зразків і експлуатаційних даних про процес деградації у конструктивного аналога-попередника, що випускається серійно. Це вимагає побудови відповідних стохастичних моделей, що дозволяють вирішувати як пряму задачу прогнозування розподілу ресурсу елемента при проектуванні, так і здійснювати інверсію, оцінюючи характеристики деградаційної процесу за інформацією про параметричну надійність аналога.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання прикладного аналізу дискретних даних про зношування, що є основним деградаційним процесом в машинах, розглядаються в багатьох роботах [1-4]. Метою цієї статті є вдосконалення методики побудови інвертируємих моделей прогнозування параметричної надійності, що дозволяють комплексно і ефективно використовувати неоднорідні дискретні дані про монотонні деградаційні процеси, об'єднуючи інформацію зі сфер експлуатації, ремонту та випробувань дослідних зразків.

**Результати досліджень.** Інвертируєма модель надійності при параметричних відмовах у випадку одного параметра, що визначає технічний стан, може включати три складові: нестационарну випадкову функцію, що описує одновимірний деградаційний процес зміни параметра; розподіл випадкового граничного рівня  $U$ , до якого допрацьовує об'єкт; розподіл випадкового напрацювання об'єкту до досягнення параметром стану випадкового граничного рівня. Формування напрацювань  $t$  вважатимемо, що відбувається в результаті перших перехресть випадковими реалізаціями деградаційного процесу випадкових граничних рівнів параметра  $U$ .

Розглянемо деградаційні процеси з монотонними реалізаціями (тільки зростаючими або тільки убуючими) і в якості основної ймовірнісної характеристики використовуємо одновимірну умовну щільність розподілу параметра  $f_1(U/t)$ , відповідну постійному значенню напрацювання  $t = const$ . Одновимірну умовну щільність розподілу

напрацювання, відповідну постійному значенню параметра  $U = \text{const}$ , позначимо  $\bar{f}_1(t/U)$ . При монотонних реалізаціях деградаційної процесу для будь-якої пари фіксованих значень  $t$  і  $U$  справедливі співвідношення:

- при зростаючих реалізаціях:

$$\int_0^U f_1(U/t) dU = 1 - \int_0^t \bar{f}_1(t/U) dt; \quad (1)$$

- при убуючих реалізаціях:

$$\int_0^U f_1(U/t) dU = \int_0^t \bar{f}_1(t/U) dt.$$

Якщо вважати, що реалізації деградаційної процесу не залежать від випадкового граничного рівня параметра, що має щільність розподілу  $f_2(U)$ , то при зростаючих реалізаціях деградаційної процесу щільність розподілу напрацювання об'єкта до випадкового граничного рівня параметра визначається виразом

$$f_3(t) = -\frac{d}{dt} \left\{ \int_0^\infty f_2(U) \left[ \int_0^U f_1(U/t) dU \right] dU \right\}. \quad (2)$$

При цьому передбачається, що умовна щільність розподілу параметра стану  $f_1(U/t)$  є функцією напрацювання, що підлягає диференціюванню.

Розглянемо варіант завдання щільності розподілу  $f_1(U/t)$  законом Вейбулла з позитивною монотонно зростаючою функцією параметра масштабу  $a(t)$ :

$$f_1(U/t) = \frac{\epsilon}{a(t)} \left( \frac{U}{a(t)} \right)^{\epsilon-1} \cdot e^{-\left(\frac{U}{a(t)}\right)^\epsilon}. \quad (3)$$

Тоді, як впливає з (1), відповідна умовна щільність розподілу наробітку до досягнення параметром фіксованого значення  $U_n$  буде визначатися виразом

$$\bar{f}_1\left(\frac{t}{U_n}\right) = \epsilon \left[ 1 - e^{-\left(\frac{U_n}{a(o)}\right)^\epsilon} \right]^{-1} \left[ \frac{U_n}{a(t)} \right]^\epsilon \cdot e^{-\left(\frac{U_n}{a(t)}\right)^\epsilon} \cdot \frac{d}{dt} [\ln a(t)], \quad (4)$$

де:  $a(o)$  – величина параметра масштабу при  $t = 0$ .

Якщо розглядати в якості параметру стану знос сполучення, то функцію параметра масштабу можна задати у вигляді  $a(t) = c \cdot t^\nu$ , де показник ступеня  $\nu$  залежить від виду сполучення, для багатьох вузлів тертя близький до одиниці і досить добре відомий [5]. Тоді з (4) випливає, що щільність розподілу  $\bar{f}_1\left(\frac{t}{U_n}\right)$  має вигляд:

$$\bar{f}_1\left(\frac{t}{U_n}\right) = \frac{\epsilon \cdot \nu}{t} \left(\frac{U_n}{c \cdot t^\nu}\right)^\epsilon \cdot e^{-\left(\frac{U_n}{c \cdot t^\nu}\right)^\epsilon} \quad (5)$$

і відповідає відомому закону Фреше.

У цього закону середнє значення  $\bar{t}$  і коефіцієнт варіації  $V_t$  визначаються з виразів

$$\bar{t} = \left(\frac{U_n}{c}\right)^{1/\nu} \Gamma\left(1 - \frac{1}{\epsilon \cdot \nu}\right), \quad \text{при } \epsilon \nu > 1; \quad (6)$$

$$V_t = \frac{\left[\Gamma\left(1 - \frac{2}{\epsilon \nu}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\epsilon \nu}\right)\right]^{1/2}}{\Gamma\left(1 - \frac{1}{\epsilon \nu}\right)}, \quad \text{при } \epsilon \nu > 2 \quad (7)$$

Гамма-відсоткове напрацювання в цьому випадку визначається за формулою:

$$t_\gamma = \left(\frac{U_n}{c}\right)^{1/\nu} \left[\ln\left(\frac{1}{1-\gamma}\right)\right]^{-1/\epsilon \nu}, \quad (8)$$

де  $\gamma$  – задана ймовірність неперевищення рівня  $U_n$ .

Якщо постійний граничний рівень параметра стану  $U_n$  і коефіцієнти  $\epsilon$  і  $\nu$  функції параметра масштабу задані, а також відомий параметр форми  $\alpha$ , що характеризує розсіювання деградаційної процесу, то формули (6), (7) і (8) дозволяють вирішувати пряму задачу прогнозування, розраховуючи основні показники довговічності по параметричним відмовам. Проте на стадії проектування оцінка величин  $\epsilon$  і  $\nu$  у багатьох випадках викликає труднощі. У зв'язку з цим розглянемо інші складові інвертируємої моделі параметричної надійності. За умови, що випадковий граничний рівень параметра має узагальнений гамма-розподіл з щільністю:

$$f_2(U) = \frac{\epsilon}{\Gamma(\alpha) \cdot a_u} \left(\frac{U}{a_u}\right)^{\alpha \epsilon - 1} \cdot e^{-\left(\frac{U}{a_u}\right)^\epsilon}, \quad (9)$$

з (2) з урахуванням (3) при  $a(t) = c \cdot t^\nu$  отримаємо вираз для щільності розподілу напрацювання у вигляді:

$$f_3(t) = \frac{\alpha \epsilon \nu \left(\frac{c}{a_u}\right)^{\epsilon \alpha} \cdot t^{\epsilon \nu \alpha - 1}}{\left[\left(\frac{c}{a_u}\right)^\epsilon \cdot t^{\epsilon \nu} + 1\right]^{\alpha + 1}}. \quad (10)$$

Щільність (10) відповідає одному з варіантів розподілу Берра, описаного в [6]. Як впливає з виразів (9) і (10) щільності розподілів випадкового рівня параметра і відповідного напрацювання містять всі характеристики деградаційної процесу, що дозволяє проводити їх статистичну оцінку, використовуючи вибірки попарно не пов'язаних між собою значень  $U$  і  $t$ . У цьому виявляється властивість інвертируємості розглянутої стохастичної моделі параметричної надійності.

Практично це дає можливість спільно використовувати при її побудові неоднорідні дані, одержувані з різних джерел. Так, маючи вибірки попарно не пов'язаних між собою даних  $U_i$  і  $t_i$  про аналог, отриманих зі сфери ремонту, можна об'єднати їх з попарно пов'язаними результатами  $(U_i^*; t_i^*)$  скорочених випробувань дослідних зразків нового (модернізованого) об'єкта, використовуючи спільну функцію правдоподібності виду:

$$L = \sum \ln f_1\left(\frac{U_i^*}{t_i^*}\right) + \sum \ln f_2(U_i) + \sum \ln f_3(t_i) \quad (11)$$

При оцінці параметрів інвертируємої моделі слід використовувати прямий пошук максимуму функції правдоподібності (11) із застосуванням, наприклад, комп'ютерного математичного пакета Mathcad, що містить вбудовану функцію Розгорнути, реалізуючу градієнтний чисельний метод пошуку екстремуму.

Таким способом була проведена оцінка характеристик процесу зношування шліців півосей задніх мостів трактора Т-150К за даними разового обстеження на ремонтних підприємствах, що представляють собою вибірки попарно не зв'язаних напрацювань  $t_i$  (в тис. мото-год): 2; 3,36 (3); 3,5 (5); 3,64 (2); 4 (2); 4,4; 4,5; 5; 5,2; 6; і спрацювань  $U_i$  шліців (в мм): 0,16; 0,18 (3); 0,24 (4); 0,26 (7); 0,28 (3); 0,32 (2); 0,33; 0,34 (2); 0,35 (2); 0,36. У дужках вказано число значень, що повторюються.

При заданому показнику ступеня  $\nu = 1$ , чисельний пошук максимуму функції (11) по іншим чотирьом параметрам розподілів (9) і (10) дав наступні результати:

$$a_u = 0,319 \text{ мм}; \quad \epsilon = 8,3; \quad c = 0,0778 \text{ мм/тис. мото-год}; \quad \alpha = 0,6346.$$

Розрахунок за формулами (6) і (8) дає при  $U_n = 0,76$  мм прогнзовані показники довговічності: середній ресурс  $\bar{t} = 10,6$  тис. мото-год; 90 % ресурс  $t_{0,9} = 8,84$  тис. мото-год.

**Висновок.** Побудова інвертируємих стохастичних моделей параметричної надійності елементів машин при монотонних деградаційних процесах дає можливість комплексно використовувати різнорідну дискретну статистичну інформацію, що отримується шляхом разових обстежень та скорочених випробувань на стадії випуску дослідних зразків. Розвиток і вдосконалення пропонуваного підходу має дати можливість ефективно проводити прогнозування параметричної надійності на стадії проектування.

### Список літератури

1. *Методика* обработки результатов испытаний по малой выборке при стационарном изнашивании с использованием информации о динамике процесса накопления износа. ВНИИНМАШ. – Горький, 1975. – 24 с.
2. *Гринченко А. С.* Оценка и прогнозирование показателей надежности в случае параметрических отказов / *А. С. Гринченко* // Прогнозирование и повышение

надежности сельскохозяйственной техники: Сб. н. тр. МИИСП. – М., 1980. – С. 19–25.

3. *Методика* оценки ресурса деталей машин по статистическим данным об их изнашивании в условиях эксплуатации / [С. П. Козырев, Л. М. Лельчук, М. Е. Марон, Н. И. Селезнев, М. Я. Франкштейн ]// В кн.: Теория и практика расчетов деталей машин на износ. – М.: Наука, 1983. – С. 135–141.

4. *Полисский А. Я.* Оценка ресурса деталей двигателей типа СМД по информации, полученной на ремонтных предприятиях / *А. Я. Полисский, П. С. Сыромятников* // Прогрессивные методы восстановления изношенных деталей сельскохозяйственных машин: Сб. н. тр. УСХА. – Киев, 1988. – С. 56–63.

5. *Михлин В. М.* Прогнозирование технического состояния машин / *В. М. Михлин.* – М.: Колос, 1976. – 288 с.

6. *Кендалл М.* Теория распределений / *М. Кендалл, А. Стьюарт.* – М.: Наука, 1966. – 588 с.

*Рассмотрен общий подход к решению проблемы построения инвертируемых стохастических моделей механической надежности в случае параметрических деградационных отказов. Предложенные методы иллюстрируются реальным примером прогнозирования долговечности при изнашивании.*

***Деградационный отказ, прогнозирование надежности, стохастическая модель.***

*General approach to the decision of problem of construction of the inverted models of mechanical reliability in the case of degradation refusals is considered. The offered methods are illustrated by the real example of prognostication of longevity at the wear.*

***Degradation refusals, reliability of forecasting, stochastic model.***

УДК 631.1

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК**

***В. Д. Войтюк, В. І. Рубльов, доктори технічних наук  
В. Г. Опалко, здобувач***

*В статті представлена методика оцінки якості показників різьбових з'єднань зернових сівалок типу СЗ-3,6А і наведені результати досліджень.*

***Зернові сівалки, різьбові з'єднання, нормативні документи, якість.***

© В. Д. Войтюк, В. І. Рубльов, В. Г. Опалко, 2015



**Постановка проблеми.** Основним напрямком АПК України є виробництво зернових культур, стабільність якого значною мірою залежить від технічного забезпечення. Однією з визначальних ланок підвищення врожайності зернових культур, окупності вкладеної праці і засобів є оснащення господарств сучасними високопродуктивними машинами для виконання сівби у відповідності з агротехнічними вимогами. Якісна сільськогосподарська техніка і зокрема сівалки забезпечать високий рівень розвитку агропромислового комплексу України в сучасних ринкових умовах.

**Аналіз останніх досліджень.** Якість є одним із визначальних чинників конкурентоспроможності сільськогосподарської техніки. В умовах відкритого ринку продукція вітчизняного сільськогосподарського машинобудування виявилась неконкурентоспроможною. Встановлено [3], що серед таких показників як ціна, строки поставки, сервіс, якість на 70 % визначає рішення про вибір продукції. В результаті частка вітчизняної техніки в обсягах її реалізації зменшилась і в останні три роки не перевищує 30 % [1]. Через це економіка України щорічно втрачає 4-6 млрд. гривень, які сільськогосподарські товаровиробники інвестують у придбання імпоротної техніки [2].

Аналіз досліджень машиновипробувальних станцій [4] свідчить, що 95-97 % зразків машин виготовляється з відхиленням від технічних вимог, 80-85 % – не відповідають вимогам безпеки та ергономіки, кожний четвертий зразок має коефіцієнт готовності нижче вимог ТУ на виготовлення. Вироблена техніка має низькі показники надійності й ремонтоздатності. До 60 % відмов машин настають через виробничі дефекти (здебільшого через дефекти збирання машин), і на їх усунення витрачається від 2 до 30 діб.

Для підвищення технічного рівня сільськогосподарської техніки необхідно виходити з того, що якість техніки ґрунтується на її сучасній уніфікованій елементній базі та складових конструкцій машин.

Різьбові з'єднання широко використовуються в техніці, і є одним з найбільш поширених способів розбірного з'єднання деталей машин. В конструкціях сучасних машин їх частка складає 30-40 % від загального числа з'єднань, а в окремих машинах та механізмах – до 80 % [5].

Частка різьбових з'єднань, що використовуються на сучасних зернозбиральних комбайнах, складає 1 % від маси або 1,1-1,8 % від вартості комбайна. Досліджено, що 15-25 % відмов зернозбиральних комбайнів першого року експлуатації відбуваються внаслідок відмов різьбових з'єднань [6].

Найпопулярнішими на українському ринку сьогодні залишаються сівалки ПАТ «Червона Зірка». Системний аналіз зернової сівалки типу СЗ-3,6А свідчить, що дана посівна машина включає велику но-

менклатуру складових частин. При цьому багато компонентів на різних рівнях складності мають різьбові з'єднання.

Використання великої кількості різьбових з'єднань в сучасних сільськогосподарських машинах свідчить про актуальність виділення їх як окремого елемента і дослідження їх впливу на якість техніки.

Дослідженню параметрів процесу затягування різьбових з'єднань присвячено багато вітчизняних та зарубіжних публікацій, проте, в них не розглядається вплив параметрів різьбових кріпильних виробів на якість збірки готової продукції та її експлуатацію.

**Мета досліджень:** визначення алгоритму методики оцінки якості різьбових з'єднань зернових сівалок типу СЗ-3,6А; дослідження впливу показників різьбових з'єднань на технічний рівень посівних машин; оцінка відповідності різьбових з'єднань та їх елементів нормованим вимогам при виготовленні та подальшій експлуатації

**Результати досліджень.** Вивчення нормативної документації і джерел, що присвячені тематиці роботи, виконувалося у відповідності до ДСТУ 3575-97 [12]. В результаті були сформульовані загальні вимоги до болтів, гвинтів, шпильок і гайок:

1. Стандартні болти, гвинти, шпильки і гайки відповідно до ДСТУ ISO 8992:2006 [25] характеризуються: механічними властивостями (матеріалом); класом точності (допусками); покритвом поверхні (за потреби); спеціальними вимогами (якщо обумовлено).

2. Зовнішній вигляд стандартних болтів, гвинтів шпильок і гайок відповідно до ГОСТ 1759.0-87 [7] повинен відповідати наступним вимогам: поверхня болтів, питов, шпильок і гайок повинна бути чистою, без слідів корозії та механічних пошкоджень; допустимі дефекти поверхні болтів, гвинтів і шпильок – за ГОСТ 1759.2-82 [8]; допустимі дефекти поверхні гайок - по ГОСТ 1759.3-83 [9].

3. Механічні властивості, матеріали виготовлення болтів, гвинтів і шпильок повинні відповідати вимогам ГОСТ 1759.4-87, ДСТУ ISO 898-1:2003 [10, 18]; гайок – ГОСТ 1759.5-87, ДСТУ ISO 898-2:2004, ДСТУ ISO 898-6:2003 [11, 19, 20].

На основі загальних вимог до елементів різьбових з'єднань була визначена номенклатура нормованих показників для:

- болтів:
  - клас відповідальності – IV клас – маловідповідальні з'єднання у відповідності з ОСТ 37.001.031-72 [26];
  - клас точності А, В;
  - клас міцності для болтів  $d < 39$  мм 4.8, 5.6, 5.8 у відповідності з ДСТУ ISO 4016:2007 [22];
  - розміри у відповідності ДСТУ ISO 4014-2001, ДСТУ ГОСТ 7798:2008, ДСТУ ГОСТ 7805:2008 [16, 17, 21].
- гайок:

- клас відповідальності – IV клас – маловідповідальні з'єднання у відповідності з ОСТ 37.001.031-72;

- клас точності А, В;

- клас міцності визначається в залежності від класу міцності болта, з яким з'єднують гайку, за ГОСТ 1759.5-87, ДСТУ ISO 898-2:2004 [11, 19];

- розміри у відповідності ДСТУ ISO 4033-2002 ДСТУ ISO 4032-2002, ДСТУ ГОСТ 5915:2008, ДСТУ ГОСТ 5927:2008 [14, 15, 23, 24].

Окремо були визначені показники різьбових з'єднань в збірці.

1. Наявність необхідних деталей в складальних з'єднаннях.

2. Головки болтів, як і гайки, повинні бути однаковими по висоті і розмірам під ключ з правильно розташованими щодо центру фасками.

3. Виступаючі кінці стрижнів болтів за межі гайок повинні бути не більше 1-5 кроків різьби або не більше 1,5 діаметра різьби відповідно до ГСТУ 3-37-5-94 [12], причому кожен з торців повинен мати однакову за розмірами фаску.

4. Зовнішній діаметр шайб і їхня товщина мають бути на всіх болтах однаковими.

5. Контргайки також повинні бути однаковими і за розмірами під ключ відповідати основним гайкам.

6. Прилягання головки болта, гайки, шайби до деталей, що скріплюються (стілки ящика сівалки), повинно бути щільним. Нещільне прилягання є наслідком слабого затиснення.

7. Величини моментів затягування різьбових з'єднань при контрольних вимірах повинні знаходитися в діапазоні від  $1,05M_{кр\ max}$  до  $0,88M_{кр\ min}$ .

Були визначені види робіт та їх послідовність у відповідності до вимог.

1. Перевірка якості складання різьбових з'єднань проводиться зовнішнім оглядом і за допомогою вимірювань.

2. Вимірювання виступу стрижнів болтів за межі гайок.

3. Перевірка щільного прилягання головки болта, гайки, шайби до деталей, що скріплюються.

- 3.1. Провести легке простукування сталевим молотком поблизу місця розташування болтового з'єднання або по голівці болта. При добре затягнутому з'єднанні простукування має супроводжуватися «густим» дзвоном металу без вібрацій іншого кінця при дотику рукою. Звук, схожий на деренчання, свідчить про погану затяжку деталей.

- 3.2. Провести вимірювання з використанням набору плоских щупів за принципом «проходить – не проходить». Для цього в зазор

вставляють одну за одною пластинки з набору щупів доти, поки одна з пластинок не входить в зазор.

### 3. Контроль затяжки болтових з'єднань

3.1. Відмітити ризкою наявне положення болтового з'єднання.

3.2. Звільнити болтове з'єднання. Різьбова частина елементів кріплення повинна бути чистою, не забрудненою і сухою, якщо не має вказівок.

3.3. Перевірити калібрування ключа і переконатися, що він підходить для виконання робіт. Точність вимірювання моментних ключів повинна бути не менше зазначеної в таблиці ОСТ 37.001.031-72.

3.4. Затягнути елементи кріплення до колишнього положення, відміченого ризкою. Закручування треба виконувати плавно, без зупинок.

Було визначено інструментальне забезпечення робіт у складі: штангенциркуль, стандартний вимірювальний молоток або шматок дерева для простукування, набір плоских щупів, моментний ключ.

Були розроблені форми протоколів для оформлення результатів випробувань.

## **1. Форма протоколу для визначення щільності прилягання кріпильних виробів, складових елементів сівалки.**

Код систем і складових частин сівалки	Позначення спряження	Назви спряжених складових частин	Зазор, мм
		гайка-шайба	
		шайба-деталь сівалки	
		деталь сівалки-деталь сівалки	
		деталь сівалки-головка болта	

## **2. Форма протоколу вимірювань параметрів болтових з'єднань сівалок.**

Код систем і складових частин сівалки	Назва систем та їх складових частин	Кількість болтів							
	Система								
	Складова частина								
	Болти з'єднання: d/ΔL								

Систематизація, обробка результатів дослідження проводилася за допомогою статистичних методів. При роботі з вибірками обчислювалися їх числові параметри, що характеризують тенденції, розкид і мінливість даних. Обробка даних виконувалася із застосуванням програми «Описова статистика» пакету Microsoft Excel. що до-

зволило отримати єдиний статистичний звіт за всіма характеристиками. Системний аналіз зернової сівалки типу СЗ-3,6А свідчить, що на різних рівнях складності її компоненти мають різьбові з'єднання. Основними кріпильними деталями різьбових з'єднань є болти, гвинти, шпильки і гайки. Згідно з проведеними підрахунками загальна кількість кріпильних деталей сівалки становить 1265 штук. Як показали дослідження на сівалках найбільш використовуваними є болтові з'єднання М8, М10, М12, їх відповідно 24, 25 і 31% від загальної кількості. Крім того, на посівних машинах використовуються болтові з'єднання М6 і М16, їх менше і становлять 13 і 6 %.

### 3. Форма протоколу визначення моменту затяжки болтів.

Код систем і складових частин сівалки	Позначення спряження	Номинальний діаметр нарізі, мм	Клас міцності	Фактичний момент затяжки, Нм	Максимальний момент затяжки, Нм	Різниця
1						
2						
3						

Клас міцності болтів на сівалках випуску до 2008 року становить 4,8, на сівалках випуску 2012 року клас міцності збільшений і дорівнює 8.8 (рис. 1).

На сівалках СЗ-3,6, виготовлених в 1998-2005 рр. фіксувалося до 75 % кородованих болтів, гайок і шайб.



Рис. 1. Клас міцності болтів на сівалках випуску 2013 року.



Рис. 2. Відсутність болтового з'єднання, гайки на зерновому ящику.

Найбільшу увагу було приділено визначенню відповідності різьбових з'єднань в збірці нормованим вимогам. Як показали ре-

зультати досліджень шайби в болтових з'єднаннях мають різний зовнішній діаметр і різну товщину, іноді зовсім відсутні (рис. 2, рис. 3), особливо це характерно для сівалок, що використовуються протягом 5 і більше років. Пояснюється це нестачею шайб відповідних розмірів в господарствах і заміною їх на вживані або наявні інших розмірів. Фіксувалися випадки застосування в механізмах кріплення сошників конгргайок, які не відповідали розмірам основних гайок.

Дослідження відповідності різьбових з'єднань системи ємностей зернових сівалок нормованим вимогам щодо допуску на зовнішню довжину болта свідчать, що ймовірність виконання нормованого виступа сівалки 1990 року виготовлення змінюється в межах 11,11-85,71 %, сівалки 2008 року виготовлення – в межах 10,53-33,33, для сівалки 2012 року виготовлення – в межах 66,67-100,00 (рис. 4, рис. 5).



Рис. 3. Розмір конгргайки не відповідає розміру основної гайки.



Рис. 4. Вихід стрижня болта за межі гайки (відповідає нормованим вимогам).



Рис. 5. Вихід стрижня болта за межі гайки (не відповідає нормованим вимогам).



Рис. 6. Послаблення болтового з'єднання.

Дослідженнями виявлено нещільне прилягання стінок насінневих ящиків, що пояснюється слабким затисненням або нерівномірністю загвинчування групових різьбових з'єднань. Треба зазначити, що більшість посівних машин зберігається на відкритих майданчиках, що призводить до появи іржі як між деталями самої машини, так і між деталями та елементами різьбових з'єднань. Наслідком цього є поява зазору і послаблення затяжки (рис. 6).

Зусилля попереднього затягування визначається вимогами до з'єднання. Нормована затяжка різьбових з'єднань - це запорука надійної і безпечної експлуатації сівалки. У вітчизняній практиці найчастіше застосовується затяжка шляхом прикладання до кріпильної деталі необхідного крутного моменту затягування. Для визначення моментів затяжки використовуються галузеві стандарти. Залежно від ступеня відповідальності, міцності і розмірів різьбових з'єднань визначаються відповідні їм величини максимальних і мінімальних моментів затягування, обсягу їх контролю.

Аналіз інструкцій по експлуатації сівалок типу СЗ-3,6А показав, що в них не регламентуються величини крутних моментів затяжки. Тому значення моментів затяжки відповідно ОСТ 37.001.050-73 [27] коливаються в широких межах від 23 до 54 Нм для болтового з'єднання М12, 13-31 Нм – для М10. Контроль затяжки свідчить, що тільки 15% болтових з'єднань М10 відповідають вказаним вимогам, 27 % – неможливо відкрутити через корозію, взаємне проникнення матеріалів болта и гайки в зоні нарізи під дією тривалого навантаження. Технічний рівень зернових сівалок багато в чому визначається показниками якості деталей, що утворюють різьбові з'єднання. Надійні кріпильні вироби сучасних конструкцій – обов'язкова умова розробки і виробництва високоякісної посівної техніки.

### **Висновки**

Розроблена методика дає можливість дослідити та вивчити вплив показників різьбових з'єднань на якість зернових сівалок і виключити можливі недоліки при виготовленні та подальшій експлуатації машин. В результаті аналізу нормативних документів були сформульовані загальні вимоги до якості різьбових з'єднань, у відповідності до яких визначена номенклатура нормованих показників. Розроблений перелік робіт для визначення показників та його інструментальне і документальне забезпечення дозволяють підвищити технічний рівень посівних машин.

Дослідження за розробленою методикою виявили, що різьбові з'єднання сівалок типу СЗ-3,6А не відповідають поставленим вимогам, зокрема фіксувалися кородовані кріпильні вироби, різні параметри елементів в одному з'єднанні, допуск на зовнішню довжину болта, величина моменту затяжки перевищували нормативні значення.

## Список літератури

1. Григорович О. Науково-організаційні аспекти технічного переоснащення АПК та розвитку сільськогосподарського машинобудування / О. Григорович, В. Кравчук, В. Гусар // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 9. – С. 7–12.
2. Державна цільова економічна програма розвитку вітчизняного сільськогосподарського машинобудування до 2020 року. – К., 2014. – 61 с.
3. Ершова И. Г. Методы оценки технического уровня машин / И. Г. Ершова. – Псков: Изд. ППИ, 2010. – 59 с.
4. Костромський М. В. Сучасний стан технічного забезпечення аграрної сфери економіки України. - Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/>
5. Кулинич І. В. Технологічно-адаптивне забезпечення складання різьбових з'єднань машин: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 „Технологія машинобудування” / І. В. Кулинич. – Тернопіль, 2005. – 19 с.
6. Михайлович Я. М. Використання різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільського господарства ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27). – С. 301–310.
7. Болты, винты, шпильки и гайки. Технические условия: ГОСТ 1759.0-87. – [Дата введения в действие 1989-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 15 с. – (Межгосударственный стандарт).
8. Болты, винты и шпильки. Дефекты поверхности и методы контроля: ГОСТ 1759.2-82. – [Дата введения в действие 1983-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 7 с. – (Межгосударственный стандарт).
9. Гайки. Дефекты поверхности и методы контроля: ГОСТ 1759.3-83. – [Дата введения в действие 1984-01-01]. – М.: Стандартиформ. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытания: ГОСТ 1759.4-87 - ИСО 898-1-78, IDT. – [Дата введения в действие 1989-01-01]. – М.: Стандартиформ. – 16 с. – (Межгосударственный стандарт).
11. Гайки. Механические свойства и методы испытаний: ГОСТ 1759.5-87. – [Дата введения в действие 1989-01-01]. – М.: Стандартиформ. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).
12. Машини сільськогосподарські. Загальні технічні умови: ГСТУ 3-37-5-94. – [Чинний від 1995-07-01]. – 38 с. – (Галузевий стандарт).
13. Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення: ДСТУ 3575-97. [Чинний від 1998-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1997 – 5 с. – (Національні стандарти України).
14. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры: (ГОСТ 5915-70, IDT): ДСТУ ГОСТ 5915:2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 5 с. – (Національні стандарти України).
15. Гайки шестигранные класса точности А. Конструкция и размеры: (ГОСТ 5927-70, IDT) : ДСТУ ГОСТ 5927:2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 5 с. – (Національні стандарти України).
16. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры: (ГОСТ 7798-70, IDT) : ДСТУ ГОСТ 7798:2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 9 с. – (Національні стандарти України).
17. Болты с шестигранной головкой класса точности А. Конструкция и размеры: (ГОСТ 7805-70, IDT) : ДСТУ ГОСТ 7805:2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 11 с. – (Національні стандарти України).



18. *Механічні* властивості кріпильних виробів, виготовлених з вуглецевої і леґованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти і шпильки: (ISO 898-5:1998, IDT) : ДСТУ ISO 898-1:2003. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 12 с. – (Національні стандарти України).
19. *Механічні* властивості кріпильних виробів. Частина 2. Гайки з установленими значеннями пробних навантаг. Нарізь з великим кроком: (SO 898-2:1992, IDT) : ДСТУ ISO 898-2:2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 22 с. – (Національні стандарти України).
20. *Механічні* властивості кріпильних виробів. Частина 6. Гайки з установленими значеннями пробних навантажень. Нарізь з дрібним кроком: (ISO 898-6:1994, IDT) : ДСТУ ISO 898-6:2005. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 16 с. – (Національні стандарти України).
21. *Болти* з шестигранною головкою. Класи точності А і В. Технічні умови: (ISO 4014:1999, IDT) : ДСТУ ISO 4014-2001. – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 19 с. – (Національні стандарти України).
22. *Болти* з шестигранною головкою. Клас точності С. Технічні умови: (ISO 4016:1999, IDT) : ДСТУ ISO 4016:2007. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 10 с. – (Національні стандарти України).
23. *Гайки* шестигранні, тип 1 Класи точності А і В Технічні умови: (ISO 4032:1999, IDT) : ДСТУ ISO 4032-2002. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 12 с. – (Національні стандарти України).
24. *Гайки* шестигранні, тип 2. Класи точності А і В. Технічні умови: (ISO 4033:1999, IDT) : ДСТУ ISO 4033-2002. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 11 с. – (Національні стандарти України).
25. *Вироби* кріпильні. Загальні вимоги до болтів, гвинтів, шпильок і гайок: (ISO 8992:1986, IDT) : ДСТУ ISO 8992:2006. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 8 с. – (Національні стандарти України).
26. *Затяжка* резьбовых соединений. Классы соединений, ряды крутящих моментов и технические требования: ОСТ 37.001.031-72. – [Дата введения в действие 1973-10-01]. – М.: Министерство автомобильной промышленности. – 8 с. – (Отраслевой стандарт).
27. *Затяжка* резьбовых соединений. Нормы затяжки: ОСТ 37.001.050-73. – [Дата введения в действие 1975-07-01]. – М.: Министерство автомобильной промышленности. – 3 с. – (Отраслевой стандарт).

*В статъе представлена методика оценки качества показателей резьбовых соединений зерновых сеялок типа СЗ-3,6А и приведены результаты исследований.*

***Зерновые сеялки, резьбовые соединения, нормативные документы, качество.***

*The paper presents a methodology for assessing the quality indicators of threaded connections of grain drills type СЗ-3,6А and the results of research.*

***Grain drills, threaded connections, regulatory documents, quality.***

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОНКОСТЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

*Т. С. Скобло, доктор технических наук*

*С. П. Романюк, аспирант*

*А. И. Сидашенко, кандидат технических наук*

*Е. Л. Белкин, инженер*

*Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. Петра Василенко*

*Предложена методика расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, возникающих в тонкостенном режущем инструменте. Оценен уровень циклических температурных напряжений, приводящих к пластическим деформациям в лезвии. Показано, что для увеличения долговечности ножей необходимо повысить предельно упругую деформацию режущей кромки*

***Тонкостенный режущий инструмент, температурные напряжения, упругая деформация, пластичность.***

**Постановка проблемы.** В настоящее время в пищевой промышленности широкое распространение получили технологические процессы резания и измельчения перерабатываемой продукции. Резка орехов осуществляется тонкостенными дисковыми ножами из стали 65Г, толщиной 0,64 мм, которые совершают вращательные движения.

Важными факторами, влияющими на прочность, устойчивость, жесткость и износостойкость режущего инструмента являются напряжения и остаточные деформации. Их уровень может меняться в зависимости от формы ножа и размеров, неравномерности нагрузки, неоднородности упругих и механических характеристик металла. В процессе эксплуатации тонкостенного режущего инструмента происходит неравномерный нагрев всего ножа, особенно значительный перепад температур формируется в его режущей кромке. В результате этого возникают температурные напряжения, которые меняются от максимума до минимума в различных зонах режущего инструмента. Возникающие циклические температурные напряжения и деформация в процессе эксплуатации оказывают негативное воздействие на структуру металла инструмента. Это приводит к диффузии углерода, пластической деформации лезвия ножа, что способствует изменению структуры всего режущего инструмента [1, 2].

© Т. С. Скобло, С. П. Романюк, А. И. Сидашенко, Е. Л. Белкин, 2015

Чтобы разработать научно-обоснованные подходы к упрочнению тонкостенного дискового ножа и повысить его надежность, продлить срок эксплуатации необходимо, оценить формируемые температурные поля, установить уровень достигаемых напряжений и деформаций.

Поэтому **целью исследований** является разработка методики расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, формируемых при эксплуатации режущего инструмента.

**Результаты исследований.** В результате проведенных исследований по оценке температурного поля тонкостенных ножей получено, что в наиболее толстой его части, равной 0,64 мм она достигает 48°C, а в наиболее тонкой – у края режущей кромки – 576°C. Такая высокая температура достигается за счет процессов трения и развития напряжений, что в ряде случаев уже при небольшом периоде эксплуатации (1-2 смены) приводит к интенсивной повреждаемости данной зоны режущей кромки – к ее загибу в ноже из стали 65Г, или к выкрашиванию лезвия – из стали 20X13.

За основу расчета термических деформаций и напряжений принята методика, описанная в работе В. В. Абрамова [3], но существенно переработанная.

Идея основана на том, что сумма проекций сил от неравномерного распределения температур на каждую ось координат должна равняться нулю. Например, если брусок даже неравномерного сечения по длине нагрет неравномерно, то можно легко найти такую среднюю температуру, относительно которой сумма проекций формируемых напряжений будет равна нулю. То есть,

$$\sum_{k=1}^n [\beta(T_k - T)m_k F_k] = 0 \quad (1)$$

где:  $T_k$  – температура в точке с индексами  $k$ ;  $\beta$  – коэффициент линейного расширения;  $T$  – температура, которую необходимо оценить;  $F_k$  – площадь сечения в точке  $k$ ;  $m_k$  – модуль упругости, зависящий от температуры. В работе рассчитывали по эмпирической формуле:

$$m_k = (23.023 - \frac{3706}{10^6} T_k - \frac{892}{10^8} T_k^2) \cdot 1000 \quad (2)$$

Деформацию от теплового воздействия рассчитывали по формуле:

$$\varepsilon_k = \beta(T_k - T).$$

В работе, исходя из характера повреждаемости ножей в эксплуатации, рассмотрели упруго-пластическую задачу. Ее особенность состоит в том, что пластическая деформация распространяется на относительно небольшой объем – самую тонкую часть мета-

ла лезвия ножа. Согласно существующей теории упругости и пластичности термические напряжения тепловой нагрузки рассчитывают с учетом закона Гука:

$$\sigma_k = m_k \varepsilon_k.$$

При этом имеют в виду, что условия равновесия автоматически выправят несоответствие этих зависимостей равномерному нагреву. Сила  $S_k$  равна произведению напряжения на площадь  $S_k = \sigma_k F_k = m_k \beta (T_k - T) F_k$ , то есть, под знаком суммы действительно условие равновесия сил  $\sum_{k=1}^n S_k = 0$ . Таким образом, искомое  $T$  из приведенной суммы (1) определяется по формуле:

$$T = \frac{\sum_{k=1}^n \beta T_k m_k F_k}{\sum_{k=1}^n m_k F_k}. \quad (3)$$

Однако принцип, предложенный в работе [3] учитывает не все составляющие. Например, объемность задачи с возникновением пластических деформаций от неравномерности развиваемых температур, а также не учитывает структурные превращения. Поэтому естественным образом метод Абрамова можно дополнить с помощью вариационного принципа минимума работы деформации. Кроме того, в теории пластичности существует две параллельные теории: одна деформационная, по которой сделаны приведенные выше выкладки, другая теория пластического течения. Второе дополнение относится к теории пластического течения, которую можно еще рассматривать как теорию приращения деформаций. Это возможно, если под скоростью деформации понимать ее приращение за одинаковое время. При достаточно малом промежутке времени приращение деформации приближенно будет равно ее скорости. Это выполнимо при условии, если величина промежутка времени является таковой, при которой температурная деформация не очень сильно превышала предельно упругую. Это требование необходимо для быстрого поиска средней деформации, обеспечивающей равновесие или минимум ее работы в вариационной постановке. С другой стороны, промежуток времени, о котором идет речь, не должен быть и слишком маленьким, чтобы не препятствовать релаксации напряжений. Под релаксацией напряжений понимаем пластическую разгрузку: если деформация превышает предельно упругую, то после разгрузки она равна предельно упругой. На самом деле она немного больше предельно упругой за счет упрочнения. Остается еще один фактор, определяемый структурными превращениями. В этом случае происходит структурная деформация, скорее всего, не меньше

предельно упругой (в пределах 0.001-0.002). Для случая структурных деформаций, как показывают многочисленные расчеты, ее нельзя растягивать по времени в пределах структурных превращений, а следует учитывать один раз сразу после окончания превращений. То есть, промежуток времени не имеет значения. Исходя из вышесказанного запишем вариационный принцип в виде:

$$A = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_k v_k = \min \quad .$$

При этом деформация равна:

$$\varepsilon_{kl} = \beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}, \quad (4)$$

где:  $k$  – номер интервала сеточной области;  $l$  – номер интервала расчета по времени;  $T_{kl}$  – температура в интервале с индексами  $kl$ ;  $T_{kl-1}$  – температура в интервале с индексами  $kl-1$ , то есть, в предыдущий момент времени расчета;  $\varepsilon_{okl-1}$  – остаточная деформация с учетом расчета в предыдущий момент времени (в начальный момент – она принята равной нулю);  $\Delta T_l$  – неизвестная пока величина, значение которой определяется из условия минимума  $A$ ;  $v_k$  – объем  $k$  интервала.

Под знаком суммы приведена работа деформации:

$$A = \sum_{k=1}^n \varepsilon_{kl} \sigma_{kl} v_{kl} \cdot$$

Определим  $\Delta T_l$ , дифференцируя  $A$  по  $\Delta T_l$  и, приравнявая производную к нулю:

$$\frac{\partial A}{\partial \Delta T_l} = -2\beta \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l + \varepsilon_{okl-1})] m_k v_k = 0 \cdot$$

Обозначим:

$$c = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k, \quad d = \sum_{k=1}^n [\beta \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k \cdot$$

Тогда из  $\sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k = c - d\Delta T_{cprl} = 0$ , получим

$\Delta T_{cprl} = \frac{c}{d} = \left\{ \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k \right\} / \sum_{k=1}^n \beta m_k v_k$ . Из этой формулы в частности следует, что если  $T_{kl} \rightarrow T_k$ , то есть, если  $T_{kl-1} - T_{kl} \rightarrow 0$ , то  $\Delta T_{cprl} \rightarrow \frac{\varepsilon_{ok}}{\beta}$ . Рассмотрим, какое значение принимает работа деформации, согласно полученной формуле для  $\Delta T_{cprl}$ :

$$A = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - c/d) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_{kl} v_{kl} = A_1 + A_2 + A,$$

где

$$A_1 = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_{kl} v_{kl}, \quad A_2 = \sum_{k=1}^n [\beta(-c/d)]^2 m_{kl} v_{kl} = \beta \frac{c^2}{d^2} \sum_{k=1}^m \beta m_{kl} v_{kl} = \beta \frac{c^2}{d},$$

$$A_3 = -2\beta c / d \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_{kl} v_{kl},$$

$$A_3 = -2\beta / d \left\{ \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_{kl} v_{kl} \right\} = -2\beta \frac{c^2}{d}, \quad A = A_1 - \beta \frac{c^2}{d}.$$

То есть, при  $T_{kl-1} - T_{kl} \rightarrow 0$  работа деформации

$$A = A_1 - \beta \frac{c^2}{d} A_1 = \sum_{k=1}^n [\varepsilon_{ok}]^2 m_{kl} v_{kl} - \beta \left\{ \sum_{k=1}^n [\varepsilon_{ok}] m_k v_k \right\}^2 / \sum_{k=1}^n \beta m_k v_k = 0.$$

Это поясняет формулу для среднего значения приращения температуры, обеспечивающей равновесие на каждом этапе расчета. Определив  $\Delta T_l$ , рассчитываем деформацию на этапе  $l$  по формуле (4). Обозначим через  $\varepsilon_{0,2}$  предельно упругую деформацию. Тогда остаточная деформация после этапа расчета  $l$ , исходя из описания жестко пластической разгрузки, принята из условия: если  $|\varepsilon_{kl}| \leq \varepsilon_{0,2}$ , то  $\varepsilon_{okl} = \varepsilon_{kl}$ ; если  $|\varepsilon_{kl}| > \varepsilon_{0,2}$ , то  $\varepsilon_{okl} = \varepsilon_{kl} / |\varepsilon_{kl}| \cdot \varepsilon_{0,2}$ . Выражение  $\varepsilon_{kl} / |\varepsilon_{kl}|$  характеризует знак деформации нарузки.

Соответственно, остаточное напряжение будет:

$$\sigma_{okl} = m_k \varepsilon_{okl}.$$

Приведенный выше расчет подробно описан для радиуса дискового ножа. Причем, радиальная и тангенциальная деформации принимались с обратными знаками. Аналогичный расчет производили по толщине диска. Кроме этого, рассчитывали работу деформации и ее интенсивность для объемной задачи.

Работа деформации в самом общем виде записывается так:

$$A = \iiint_V e_s \sigma_s dV, \quad (5)$$

где:  $e_s$  – интенсивность деформаций, которая вычисляется по формуле:

$$e_s = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2 + \frac{3}{2}(e_{xy}^2 + e_{xz}^2 + e_{yz}^2)}.$$

где:  $\sigma_s$  – интенсивность напряжений, которая вычисляется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + \frac{3}{2}(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)},$$

где:  $dV$  – элемент объема.

В теории считается, что пластичность начинается тогда, когда интенсивность напряжений равна некоторому постоянному числу  $K$ . Однако при практическом решении задач теории пластичности вместо интенсивности напряжений учитывают сопротивление деформации, которое рассчитывается по эмпирической формуле и в нее входят параметры химического состава стали, способа упрочнения, температуры, скорости и степени деформации. В данном исследо-

вании рассматривали интенсивность деформации в простейшем случае, когда:

$$e_{xy} = e_{yz} = e_{zx} = 0.$$

Принято еще одно предположение:  $e_x + e_y + e_z = 0$ . Последнее условие относится к пластическим деформациям (или близким к ним). Обозначим:

$$F = (e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2.$$

Зададим число  $a$  таким, что:

$$e_y = ae_x.$$

Тогда,

$$e_x + ae_x + e_z = 0, \quad e_z = -(1+a)e_x, \quad F = 6e_x^2(a^2 + a + 1).$$

Но по определению  $F \geq 0$ , значит, и  $a^2 + a + 1 \geq 0$ .

Найдем  $a$ , которое соответствует наименьшему значению  $F$ .

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 2a + 1.$$

Для  $a = -\frac{1}{2}$ , имеем  $e_z = -(1+a)e_x = -\frac{1}{2}e_x$  и  $e_y = -\frac{1}{2}e_x$ .

При этом:

$$F_{\min} = F\left(-\frac{1}{2}\right) = 6e_x^2\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2} + 1\right) = 6e_x^2\frac{3}{4} = e_x^2\frac{9}{2}, \quad F_{\min}/6 = 0.75e_x^2.$$

Интеграл (5) для подсчета работы деформации в дискретном виде представляется так:

$$A = \sum_{k=1}^n e_{sk} \sigma_{sk} V_k.$$

При расчетах напряжения и деформации радиус ножа был разделен на 43 интервала по 0,5 мм, а по толщине на 2 по 0,32 мм.

На основании предложенной методики проведены расчеты для предельно упругой деформации равной 0.0035 и 0.002. Для каждой  $\epsilon_{0,2}$  сделано по 8 расчетов напряжений и деформаций, соответствующих  $\alpha = 5,81; 11,63; 17,44; 23,26; 29,07; 58,15; 87,22$  и  $116,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ . Полученные результаты изменения остаточной деформации представлены в графическом виде на рис. 1.

Из рис.1,а видно, что при предельно упругих деформациях равных 0.002, зона пластической деформации на большей ее части однородна и соответствует ширине всей режущей кромки при разных коэффициентах теплоотдачи. Эта зона значительно шире, чем при  $\epsilon_{0,2} = 0.0035$ . На полученной зависимости (см. рис.1,б) значение остаточной деформации не достигает предельно упругих при  $\alpha < 58,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ . Это свидетельствует о том, что в данном случае не происходит пластической деформации в лезвии ножа.

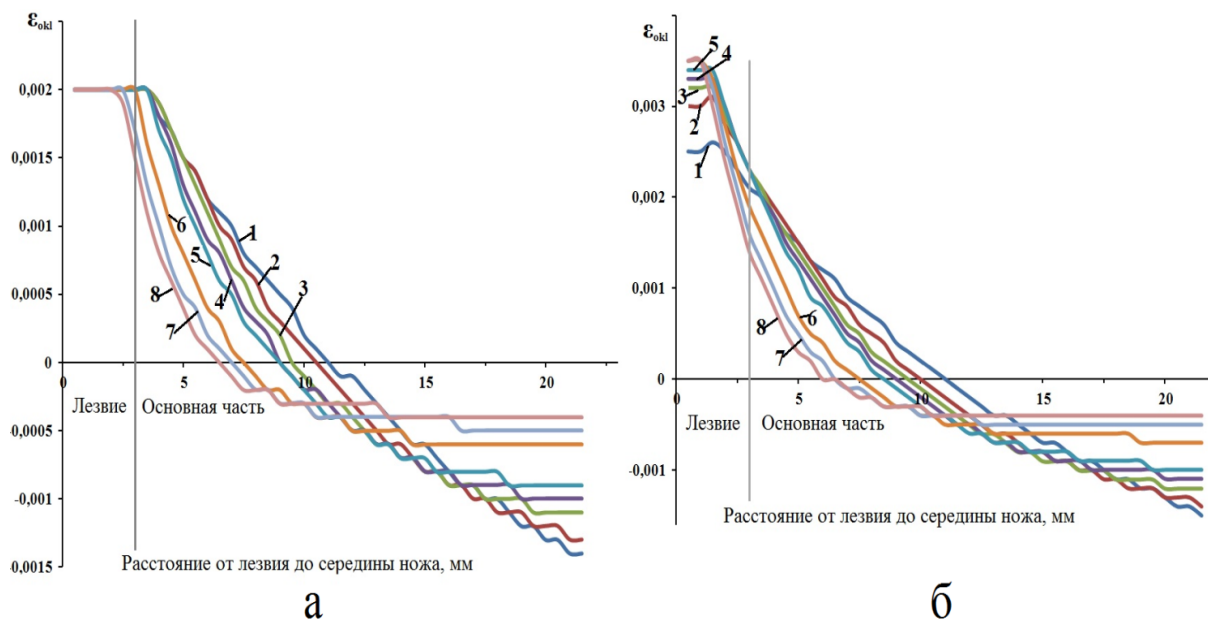


Рис. 1. Изменение остаточной деформации по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (1 –  $\alpha=5,81$ ; 2 –  $\alpha=11,63$ ; 3 –  $\alpha=17,44$ ; 4 –  $\alpha=23,26$ ; 5 –  $\alpha=29,07$ ; 6 –  $\alpha=58,15$ ; 7 –  $\alpha=87,22$ ; 8 –  $\alpha=116,3$ ).

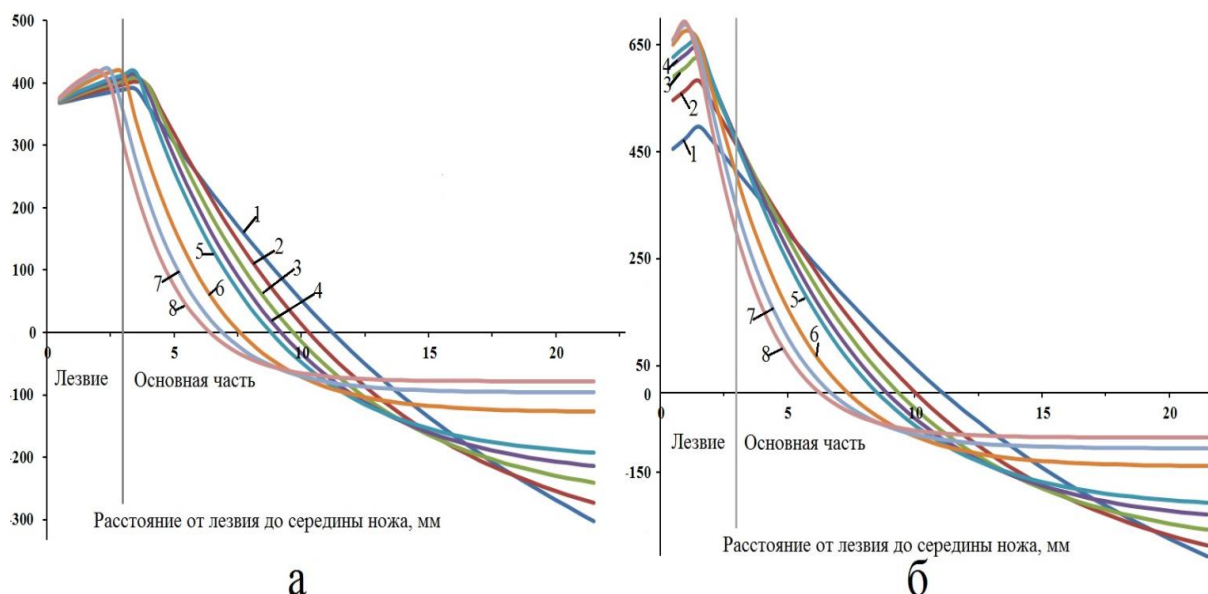


Рис. 2. Распределение тангенциальных напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (1 –  $\alpha=5,81$ ; 2 –  $\alpha=11,63$ ; 3 –  $\alpha=17,44$ ; 4 –  $\alpha=23,26$ ; 5 –  $\alpha=29,07$ ; 6 –  $\alpha=58,15$ ; 7 –  $\alpha=87,22$ ; 8 –  $\alpha=116,3$ ).

Проведенные расчеты для остаточных деформаций показали, что с ростом  $\epsilon_{0,2}$  уменьшается зона пластической деформации по диаметру дискового ножа (режущей кромки).



Изменение тангенциальных напряжений по ширине дискового ножа в зависимости от коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  представлено на рис. 2. Из рис. 2. видно, что с увеличением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  снижается значение тангенциальных напряжений.

С ростом  $\alpha$  интенсивность деформации (рис. 3) повышается у лезвия и снижается у основания.

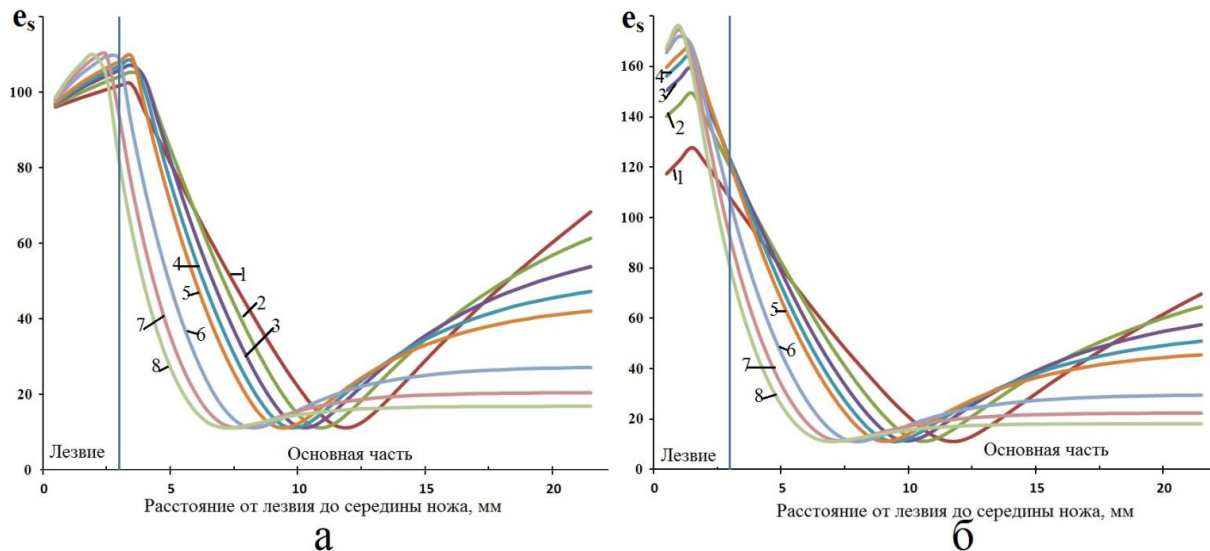


Рис. 3. Интенсивность деформации по радиусу дискового ножа при предельно упругих значениях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (1 –  $\alpha=5,81$ ; 2 –  $\alpha=11,63$ ; 3 –  $\alpha=17,44$ ; 4 –  $\alpha=23,26$ ; 5 –  $\alpha=29,07$ ; 6 –  $\alpha=58,15$ ; 7 –  $\alpha=87,22$ ; 8 –  $\alpha=116,3$ ).

Проведен расчет изменения работы деформации при разных значениях предельно упругих деформаций и коэффициентах теплоотдачи. Полученные результаты представлены в табл. 1.

**1. Изменение работы деформации при различных значениях  $\epsilon_{0,2}$**

Параметры	Работа деформации								
	5	10	15	20	25	50	75	100	
Предельно упругая деформация $\epsilon_{0,2}$	0.0035	555.8	563.2	530.2	490.7	453.6	324.4	253.7	210.0
	0.002	508.4	470.9	421.3	379.4	345.9	241.5	187.6	153.5

Из табл. 1, можно сделать вывод, что работа деформации снижается с увеличением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ . Также работа деформации снижается со снижением  $\epsilon_{0,2}$ . Из анализа полученных результатов следует, что для того чтобы избежать пластических деформаций в лезвии ножа, необходимо повышать предель-

но упругую деформацию. Это возможно осуществить с помощью нанесения покрытий. Дальнейшие исследования проводили для изучения влияния предельно упругой деформации равной 0.0035 при циклических условиях эксплуатации (цикл работы одной перерабатываемой пары продукции) до отключения оборудования и последующей загрузки продукции и осмотра состояния ножей.

Для того чтобы проследить влияние остаточных деформаций и напряжений в режущем инструменте были проведены расчеты изменения этих параметров при циклическом нагреве и охлаждении. Полученные результаты представлены в графических зависимостях (рис. 4 и рис. 5) и табл. 2.

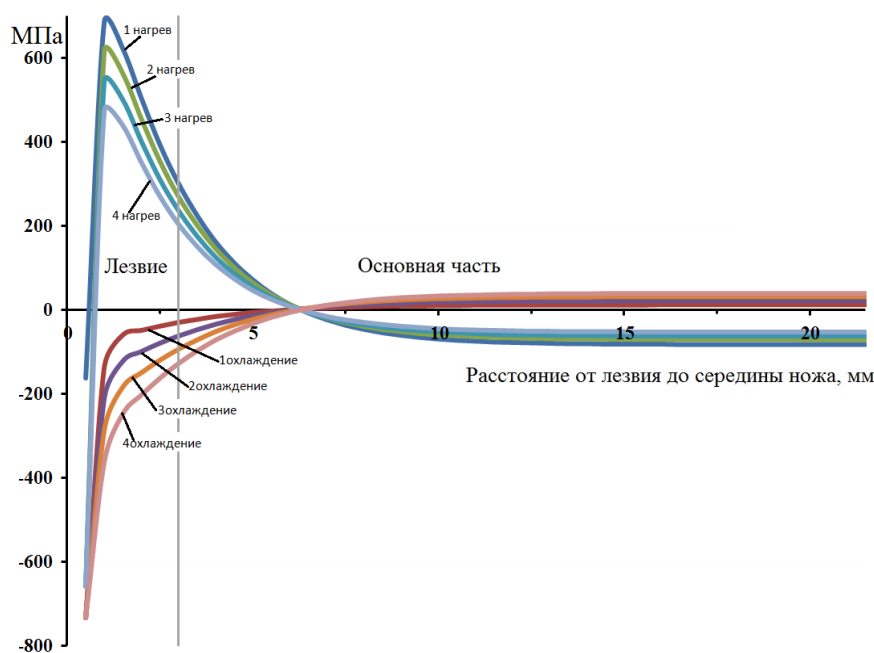


Рис. 4. Распределение тангенциальных напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.0035 в 4 циклах нагрев-охлаждение

Из рис. 4 видно, что на краю лезвия возникают растягивающие тангенциальные напряжения на ширине 0,5мм, переходящие в сжимающие. На расстоянии 6мм от края лезвия по радиусу ножа при нагреве отмечается изменение знака напряженного состояния, происходит переход от сжимающих к растягивающим. В ножах американского производства в этой зоне формируют утолщение по его периметру, равное 0,26мм. Несмотря на это конструктивное решение, эксплуатационная стойкость таких ножей существенно не возрастает. Наибольшие напряжения соответствуют режущей кромке ножа и составляют 686 МПа. При охлаждении они меняют знак на противоположный. С каждым циклом эксплуатации уменьшаются значения тангенциальных напряжений.

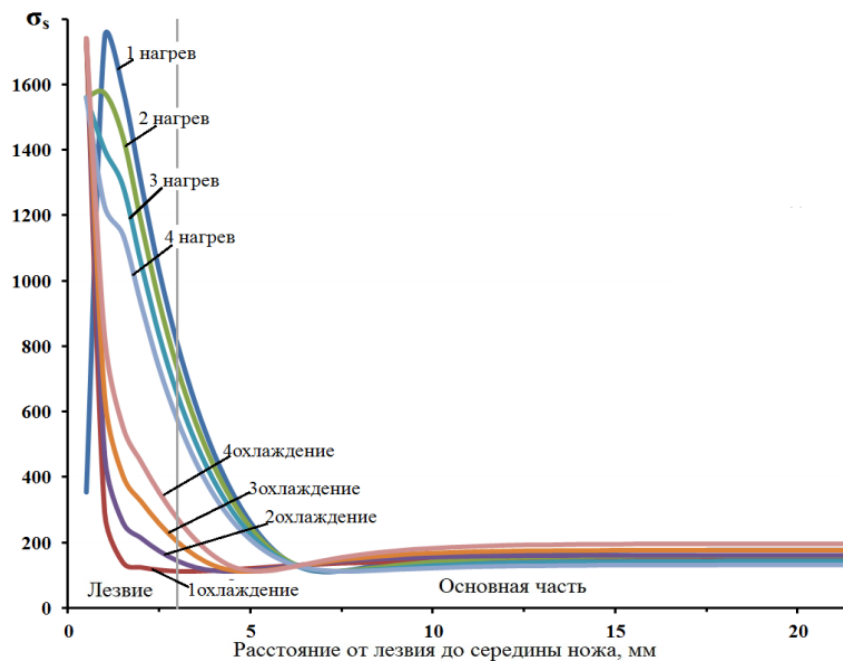


Рис. 5. Интенсивность напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.0035 и в 4 циклах нагрев-охлаждение.

**2. Изменение остаточных касательных деформаций по радиусу ножа от края лезвия и основной его части.**

Цикл	Остаточные касательные деформации, $10^{-3}$													
	Лезвие, мм						Основная часть, мм							
	0-0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
После 1-го нагрева	-9	35	30	24	19	14	11	8	5	3	2	1	0	-1
После охлаждения	-35	-6	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
После 2-го нагрева	-35	31	27	22	17	13	10	7	5	3	2	1	0	-1
После охлаждения	-35	-10	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	0
После 3-го нагрева	-35	28	24	19	15	11	8	6	4	3	1	0	0	-1
После охлаждения	-35	-14	-9	-7	-6	-5	-3	-3	-2	-1	-1	0	0	0
После 4-го нагрева	-35	24	21	17	13	10	7	5	3	2	1	0	0	-1
После охлаждения	-35	-17	-12	-10	-8	-6	-5	-3	-2	-2	-1	0	0	1

Максимальная интенсивность напряжений составляет 1744 МПа на лезвии (рис. 5). Интенсивность напряжений с каждым последующим циклом уменьшается при нагреве. При этом, с каждым последующим циклом, увеличивается интенсивность напряже-

ний при охлаждении. Результаты расчетов остаточных касательных деформаций в циклах нагрев-охлаждение представлены в табл. 2.

В табл. 2 не представлены данные расчетов по радиусу ножа (его основанию) от 7 мм до 21,5 мм потому что в этой зоне остаточные касательные деформации гораздо меньше предельно упругих.

Из табл. 2 видно, что после нагрева в первый раз на конце лезвия остаточная касательная деформация составляет  $-9 \cdot 10^{-3}$ , то в последующие циклы нагрева она все время равна предельно упругой. При нагреве лезвие сжимается, но самое острие растягивается. Цикл охлаждения приводит к еще большему растяжению конца лезвия до предельно упругого состояния. Следующий цикл расчета нагрева так и оставляет в пластическом состоянии растяжения конец лезвия. При этом происходят необратимые изменения в металле режущей кромки ножа, связанные с разрушением карбидной фазы, диффузией углерода с перестройкой дислокационной структуры, появлением значительных пластических деформаций [1, 2], приводящих к повреждаемости и разрушению. Это способствует тому, что на конце лезвия происходит вырыв металла или загиб. Как показали экспериментальные исследования, повреждаемость ножей происходит в режущей кромке, где имеют место наибольшие напряжения растяжения, стимулирующие структурную деградацию металла. Обеспечить уменьшение повреждаемости можно нанесением нанопокровов, снижающих влияние этих факторов.

Для оценки физико-механических свойств исходных ножей и упрочненных покрытием были проведенные сопоставительные исследования с применением метода наноиндентирования. Полученные результаты показали, что свойства исходных ножей, обработанных традиционными методами, существенно отличаются от упрочненных покрытием. Нанопокров обеспечивает более высокие физико-механические свойства инструмента. Оно способствует значительному повышению таких параметров, как нанотвердость и модуль упругости.

По результатам испытаний среднее значение нанотвердости для образцов с покрытием составило: 23,19 (нанопокров CrN), 33,86 (нанопокров MoN) и 25,67 (нанопокров TiN). При этом нанотвердость исходного образца не превышает 4,09 ГПа.

Получены данные о среднем значении модуля упругости для образцов с покрытием, которое составило: 281,19 ГПа (нанопокров CrN), 480,58 (нанопокров MoN) и 389,29 (нанопокров TiN). Среднее значение модуля упругости для исходного образца составило 204,7 ГПа.

При анализе механических свойств покрытий оценивали стойкость материалов к упругой деформации разрушения, используя ве-

личину отношения твердости к модулю упругости  $H/E$ , называемую индексом пластичности [4]. Данный показатель составляет 0,082 для упрочненного образца нанопокрываемого CrN и 0,020 – для исходного. Также оценивали сопротивление материала пластической деформации ( $H^3/E^2$ ) [5]. Например, для упрочненного ножа нанопокрываемого CrN, у которого наименьшее значение модуля упругости, сопротивление пластической деформации металла ножа с покрытием CrN увеличивается в 93 раза по сравнению с исходным.

Как показали промышленные испытания, эксплуатационная стойкость, сопротивление деформации и разрушению, упрочненных нанопокрываемых ножей возросли более чем в 25 раз.

Проведенные сопоставительные исследования подтвердили теоретические расчеты о необходимости повышения упругих свойств режущего инструмента.

### **Выводы**

Предложена методика расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, возникающих в тонкостенном режущем инструменте. Показано, что при нагреве острие лезвия подвергается растягивающим напряжениям и каждый цикл охлаждения при эксплуатации приводит к еще большему их накоплению до предельно упругого состояния. Это приводит к появлению пластических деформаций и интенсивной повреждаемости, особенно режущей кромки.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что для увеличения эксплуатационной стойкости дисковых ножей необходимо повышать предельно упругую деформацию и предел текучести режущей кромки. Одним из наиболее эффективных способов может быть метод упрочнения нанесением нанопокровов на поверхность инструмента.

Проведенные сопоставительные исследования показали, что свойства исходных ножей, обработанных традиционными методами, существенно отличаются от упрочненных покрытием. Нанопокрываемое обеспечивает более высокие физико - механические свойства инструмента. Оно способствует значительному повышению таких параметров, как нанотвердость (минимум в 5,67 раз) и модуль упругости (минимум на 76,49 ГПа). Сопротивление пластической деформации металла ножа с покрытием CrN увеличивается в 93 раза по сравнению с исходным.

### **Список литературы**

1. Скобло Т. С. Кинетика структурных изменений ножей в процессе трения при переработке продукции / Скобло Т. С., Сидашенко А. И., Романюк С. П. // Научное обозрение. – М., 2014. – № 4. – С. 197–203
2. Скобло Т. С. Перераспределение углерода в тонкостенном режущем инструменте при эксплуатации / Скобло Т. С., Романюк С. П., Белкин Е.Л. // Технічний

сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Х.: ХНТУСХ ім. Петра Василенко, 2014. – №1. – С. 95–103

3. Абрамов В. В. Остаточные напряжения и деформации в металлах / В. В. Абрамов. – М.: Машгиз, 1963. – 356 с.

4. Фирстов С. А. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский, Н. А. Мамека // Методы анализа и испытаний материалов. Материаловедение. – 2007. – С. 26–31.

5. Толмачёва Г. Н. Применение метода наноиндентирования для исследования механических свойств сверхтвёрдых покрытий на основе нитрида титана / Г. Н. Толмачёва, А. С. Куприн // ФИП. – 2011. – Т. 9, № 2. – С. 157–163.

*Запропоновано методику розрахунку та оцінки температурних напруг і деформацій, що виникають в тонкостінному ріжучому інструменті. Оцінено рівень циклічних температурних напруг, що призводять до пластичних деформацій у лезі. Показано, що для збільшення довговічності ножів необхідно підвищувати гранично пружну деформацію ріжучої кромки.*

**Тонкостінний ріжучий інструмент, температурні напруги, пружна деформація, пластичність.**

*The calculation and estimation technique of the temperature stresses and deformations, arising in the thin-walled cutting tool, is proposed. The level of the cyclic thermal stresses leading to the plastic deformation in the blade is estimated. It is shown that in order to increase the durability of knives it is necessary to enhance the maximum elastic deformation of the cutting edge*

**Thin-walled cutting tools, thermal stresses, elastic deformation plasticity.**

УДК 368.5:361.1:368.04

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТРАХУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ: ІННОВАЦІЙНИЙ АСПЕКТ**

**С. А. Навроцький, доктор економічних наук  
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»**

*У статті обґрунтовано необхідність страхування земель сільськогосподарського призначення від погіршення їх якісного стану. Запропоновано методичні рекомендації з оцінки збитків*

© С. А. Навроцький, 2015

*внаслідок погіршення якісних показників земельних ділянок при настанні страхової події природного або техногенного походження.*

**Страхування, земельна ділянка, якісний стан, оцінка збитків.**

**Постановка проблеми.** Перехід до різних форм власності вимагає використання ринкових механізмів захисту земель. Тому питання розширення сфери дії страхування і використання його у складі механізму захисту земель сільськогосподарського призначення набуває особливого не лише практичного, але і наукового (враховуючи необхідність розробки цілої низки пов'язаних з ним методичних питань) значення.

**Аналіз основних досліджень.** Питання екологічного страхування та екологічних ризиків досліджували такі відомі вчені, як В. Д. Базилевич, К. С. Базилевич, О. М. Віленчук, С. С. Осадець, І. А. Сааджан, С. К. Харічков та інші [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10]. Проте страхування якісного стану земельних ділянок залишається перспективним і інноваційним напрямом.

Страхування земельних ділянок на предмет погіршення якісних характеристик досі не проводиться, що обумовлюється недосконалістю нормативно-правової бази, недостатністю інформаційного та матеріального забезпечення, відсутністю методичного забезпечення й підготовлених кадрів.

**Метою досліджень** є вдосконалення організації та методичного забезпечення оцінки збитків від погіршення якісного стану земель при страхуванні земельних ділянок.

**Результати досліджень.** В результаті аналізу страхових ризиків, які визначені в науковій та навчально-методичній літературі [1, 2, 6, 7, 8, 9, 10], доцільно виділити такі їх групи, що можуть виникати у процесі використання земель: природні, антропогенні, організаційно-правові, техногенні.

Земельні ресурси, і тим більше – сільськогосподарські угіддя, як елемент навколишнього природного середовища, поки, в систему страхування не входять, хоча на них постійно негативно впливає цілий ряд чинників ризику, а власники і користувачі земельних ділянок несуть з цієї причини збиток. І природно передбачити, що кожен суб'єкт, що господарює на землі, зацікавлений в компенсації понесених в цьому випадку втрат. Вірогідність їх появи стимулює інтерес до захисту землі, а землекористувач стає потенційним носієм страхового інтересу (рис. 1).

Дослідження показало, що страхування в області земельних відносин починає пробивати собі дорогу і вже організовується, правда, поки в двох напрямках. Перше – це страхування ризиків втрати,

порушення або обмеження прав страхувальників, що витікає з їх прав власності, володіння і користування та розпорядженням землею, – так зване „титульне страхування”. Друге – це страхування ризику втрати (пошкодження) земельних ділянок в результаті негативних дій на них природного і антропогенного характеру, яке може бути як страхуванням цивільної відповідальності самих землекористувачів по забезпеченню збереження і раціонального використання земельної ділянки, так і страхуванням конкретного земельного масиву по сукупності прояву чинників ризику.

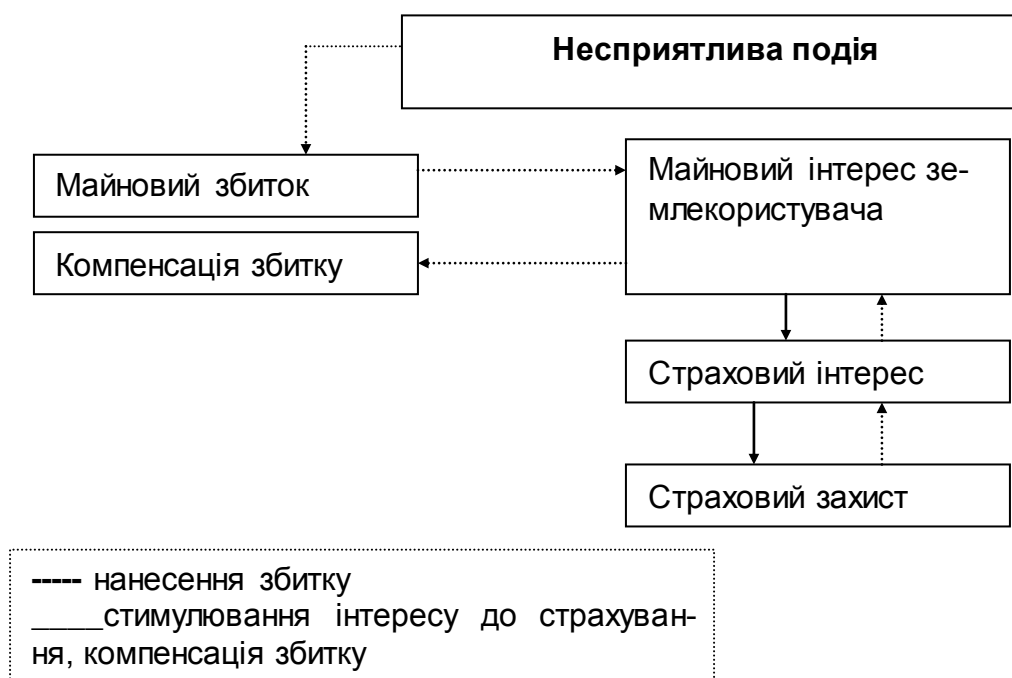


Рис. 1. Негативна подія, як стимул-реакція інтересу землекористувачів до страхового захисту.

Практика страхування земель може бути поширена і на сільськогосподарські угіддя в Україні, за умови відповідного законодавства щодо земель сільськогосподарського призначення і попиту на таку страхову послугу.

Приватна власність на землю поставила низку нових запитань, що вимагають в першу чергу від науки своїх обґрунтованих відповідей. У результаті в дев'яності роки учені звернулися до проблем вартісної оцінки земель, методів розрахунку земельного податку і орендної плати. Збільшена чисельність учасників земельних відносин і ринкова економіка загострили питання загального землеустрою – збереженню земель сільськогосподарського призначення і їх продуктивної здатності, зажадали механізмів економічної підтримки власників і користувачів земельних ділянок. У наукових статтях з'явилися пропозиції про організацію системного захисту земель, про створен-



ня спеціального резервного фонду, за рахунок засобів якого могли б вирішуватися питання ліквідації наслідків стихійних лих, фінансування інвестиційних проектів по захисту і відновленню земель і робіт по зниженню страхових ризиків в зонах потенційно небезпечних, ризикового землеробства, екологічного ризику.

Для оцінки зон негативних впливів використані матеріали і картограми, що відображають якісні особливості земель Кам'янець-Подільського району, а також їх кадастрова оцінка.

Наші розрахунки показали, що вплив негативних природних і антропогенних чинників знижує вартість сільськогосподарських угідь в цілому по району майже на 20 % (або на 127,8 млн. грн), у тому числі: змивання ґрунтів – на 1,4 % (1,78 млн. грн); дефляція – на 0,01 % (0,01 млн. грн); яружна ерозія – на 15 % (19,7 млн. грн); перезволоження – на 0,1 % (0,13 млн. грн); заболочування – на 2,7 % (3,45 млн. грн); забруднення викидами промислових підприємств – на 0,5 % (0,64 млн. грн).

Всі перераховані вище ризики можуть бути прийняті до страхування за умови покладання на землекористувача, як потенційного страхувальника, обов'язки виконання певних ґрунтозахисних заходів. Відповідальність страхової компанії за компенсацію збитків, понесених землекористувачем за період страхування земельної ділянки, виникає в цьому випадку за умови, що страхувальник виконує всі передбачені договором вимоги раціонального землекористування, але пошкодження або погіршення якості земельної ділянки сталося виключно під впливом об'єктивних явищ.

Страхові компанії ішли б на страхуванням сільськогосподарських угідь за умови розробки правил його ведення. Основна завдання, при впровадженні земельного страхування, не допустити при створенні нового виду страхової послуги помилок при оцінці ступеня ризику. Для об'єктивної їх оцінки потрібно зібрати, узагальнити і проаналізувати інформацію про частоту і інтенсивність прояву несприятливих явищ. На жаль, в даний час доступу до такого роду інформації практично немає. Однак, для організації страхування земель повинна передувати скоординована робота ряду міністерств і відомств, по-перше, по формуванню банку даних про схильність сільськогосподарських угідь підпадати під небезпечні природні процеси, їх інтенсивність і площі поширення, по-друге, по збору, систематизації і централізації даних про вплив на сільськогосподарські угіддя потенційно небезпечних виробництв і визначенню розмірів безпеки для кожного регіону. Це, у свою чергу, вимагає наукового забезпечення у вигляді розробки і обґрунтування методик ідентифікації для виділення типових груп ризиків, оцінки вірогідності їх виникнення і сили прояву, а також можливих збитків у сфері землекористування. Все це

дозволить створити єдині для всіх суб'єктів страхового ринку правила страхових дій.

Дослідження проблеми страхування сільгоспугідь, як одного з ефективних засобів захисту продуктивних земель сільського господарства, дозволяє зробити висновок, що є всі підстави вважати страхування сільськогосподарських земель проблемою актуальною. Для впровадження земельного страхування вирішення необхідні законодавчі документи і наукові розробки, що з'явилися останніми роками. Все це може розглядатися як науково-правова основа розробки вже конкретних пропозицій по питаннях формування механізму страхування сільськогосподарських угідь. Передумови страхування сільгоспугідь відображує рис. 2 [3, 4, 5].

ОБ'ЄКТИВНІ ПЕРЕДУМОВИ	
Природні ризики	Техногенні ризики
Повені, землетруси, селі, зсуви, обвали, підтоплення, дії інших природних чинників	Захаращення земель, забруднення, псування і знищення верхнього родючого шару землі
ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ	
Дефіцит коштів для землевідновлювальних робіт. Недобір урожаїв від втрат родючих властивостей сільгоспугідь у випадках негативної дії природних і техногенних чинників. Відсутність страхування землі в системі земельних відносин.	
ПРАВОВІ ПЕРЕДУМОВИ	
1. Закон України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обмежень» від 01.07.2004 № 1952-IV // Відомості Верховної Ради України 2004 – № 51 – ст. 553. 2. Цивільний кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV // Відомості Верховної Ради України від 03.10.2003 – 2003 р., № 40, стаття 356. 4. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо документів, що посвідчують право на земельну ділянку, а також порядку поділу та об'єднання земельних ділянок» від 05.03.2009 № 1066-VI-ВР // Голос України від 01.04.2009 – № 58.	
ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПЕРЕДУМОВИ	
Наявність страхових установ і можливість розширення страхової сфери за рахунок включення сільгоспугідь до складу об'єктів страхування. Наявність вартісної (кадастрової) оцінки сільгоспугідь.	

Рис. 2. Передумови страхування сільськогосподарських угідь.

Дослідження виявили можливість компенсації збитків і фінансування землевідновлювальних робіт шляхом організації страхування земель сільськогосподарського призначення. Страхування земель – специфічна сфера страхування, де доки немає розробленого

для практичного застосування механізму реалізації страхових відносин, основу якого складає вирішення наступних методичних питань, що пов'язані між собою: визначення страхової вартості і страхової суми земельних ділянок; розрахунок страхового тарифу, на оцінці вірогідності виникнення негативних природних і техногенних процесів; визначення страхових внесків землекористувачів; оцінка збитку, нанесеного земельним ділянкам природними і техногенними подіями; розрахунок сум страхових відшкодувань.

Для страхування земельної ділянки її страхову вартість пропонується розраховувати на основі базової ціни, за яку приймати його кадастрову оцінку; отриману таким чином величину - використовувати для визначення страхової суми ділянок.

Помилки, допущені при оцінці земель, можуть привести або до виплати страхувальниками зайвих платежів, або до їх недобору страховиками. У першому випадку необґрунтованих втрат зазнає землекористувач, в другому – страхова компанія.

Розмір страхової суми визначається за узгодженням із страхувальником, у відсотках від страхової вартості, встановлюваною страховою компанією. Вивчення практики страхування показує, що по страхуванню більшості видів майна страхова сума встановлюється дещо менше страхової вартості, маючи на увазі спонукати цим страхувальника прийняти всі необхідні заходи до забезпечення збереження майна. Наприклад, сільськогосподарські культури страхують у розмірі 70 % вартості урожаю.

В разі, якщо земельна ділянка застрахована на повну вартість, страхова сума дорівнюватиме страховій вартості ділянки.

В разі переоцінки земель або зміни базових нормативів розрахунку страхова сума також підлягає тому, що передивляється, оскільки страхування передбачає можливо повніше покриття збитку.

Страхові тарифи для страхування земель передбачається, як і при страхуванні інших об'єктів розраховувати з врахуванням вірогідності настання страхових подій, визначеної на основі фактичних даних про несприятливі дії за ряд років із врахуванням специфічних для регіонів небезпек.

Для отримання такої інформації вдаються до аналізу і оцінки впливу на землю аварій, що мали місце, катастроф, інших стихійних процесів, розмірів заподіяного збитку і об'єму ресурсів, необхідних для ліквідації їх наслідків. Їх класифікація дозволяє формалізувати інформацію про катастрофи або стихійні лиха, звести різноманіття їх проявів до типових груп. Збір і систематизація даних про вплив небезпечних виробництв, створення банку даних про факти, обставини і наслідки прояву негативних природних дій дозволять визначати розміри небезпеки для кожного регіону і адекватні їм страхові тарифи.

В результаті досліджень пропонується наступна методика страхування сільськогосподарських угідь.

Страховий тариф ( $TБ$ ) складається з нетто-ставки ( $Tн$ ), призначеної для формування страхового фонду, і навантаження ( $H$ ), за допомогою якого акумулюються кошти на покриття витрат і формування прибутку страховика по страховій діяльності:

$$TБ = Tн + H. \quad (1)$$

Тарифна ставка-нетто ( $Tн$ ), відображає величину майбутніх виплат за договором (або договорами) страхування, у свою чергу, представляє суму:

$$Tн = Tо + Hр, \quad (2)$$

де:  $Tо$  – основна частина тарифної ставки-нетто;  $Hр$  – надбавка за ризик (т.з. „ризикова надбавка”).

Основна частина нетто-ставки залежить від вірогідності настання страхового випадку ( $g$ ), середньої страхової суми ( $S_с$ ) і середньої суми виплат ( $S_в$ ) по укладених договорах страхування.

Основна частина нетто-ставки з 100 грн. страхової суми розраховується на основі цих даних за формулою:

$$Tо = S_в \div S \times 100 \times g. \quad (3)$$

При страхуванні нового виду ризиків і за відсутності даних про величини  $g$ ,  $S$  і  $S_в$ , рекомендуємо оцінювати ці величини експертним методом. Відношення середньої величини виплати до середньої страхової суми ( $S_в:S$ ) рекомендується приймати залежно від видів страхування не нижче:

0,3 – при страхуванні нещасних випадків і хвороб в особовому страхуванні;

0,5 – при страхуванні наземного транспорту;

0,6 – при страхуванні вантажів і майна, окрім засобів транспорту;

0,7 – при страхуванні відповідальності власників автотранспортних засобів, інших видів відповідальності і фінансових ризиків.

Оскільки в даний час і в минулій вітчизняній практиці страхування земель не було, то даних про величину співвідношення ( $S_в:S$ ) в даний час немає. Але, враховуючи, що сільськогосподарські угіддя є частиною майново-господарського комплексу, для їх страхування прийемо це співвідношення у розмірі 0,6, тобто як і для страхування майна. Вірогідність настання страхового випадку (або вірогідність виникнення збитку) визначається розміром якісних і кількісних втрат від негативних процесів певної інтенсивності на певній території за певний період часу, тобто розмірами потенційної небезпеки і уразливості земель, залежних від знаходження останніх в зоні певного (по вірогідності і силі) природного і техногенного впливу. Рекомендуємо розрахунок цієї надбавки проводити за формулою:

$$TP = 1,2 \times T0 \times a(\gamma) \times V(1-g) : (n \times g) , \quad (4)$$

де:  $n$  – число договорів страхування (для даного розрахунку умовно приймаємо їх число, рівне 150);  $a(\gamma)$  – коефіцієнт, який залежить від міри гарантії безпеки.

*Оцінка збитку, нанесеного земельним ділянкам несприятливими природними і техногенними подіями.* Для страхування земель немає практичних методик оцінки реальних збитків від несприятливих дій на них природних і техногенних дій. Враховуючи, що розмір збитку від несприятливих природних і техногенних дій складається з витрат на відновлення пошкодженої земельної ділянки і упущеної вигоди за час його відновлення, пропонується його визначати за формулою:

$$Z = Z_p + Y_e , \quad (5)$$

де:  $Z$  – розмір збитку;  $Z_p$  – збитки, обумовлені необхідністю витрат на його компенсацію;  $Y_e$  – упущена вигода, що характеризується величиною доходу, недоотриманого за час, потрібний для відновлення земельної ділянки.

Упущену вигоду ( $Y_e$ ) визначаємо за формулою:

$$Y_e = (D_{cp} - D_{\phi}) \times S \times K_3 , \quad (6)$$

де:  $D_{cp}$  – середній річний дохід від експлуатації ділянки;  $D_{\phi}$  – фактично отриманий (можливий) дохід від експлуатації ділянки;  $S$  – площа пошкодження ділянки;  $K_3$  – коефіцієнт залежності суми щорічного доходу, що втрачається, від періоду відновлення пошкодженої ділянки.

Середній річний дохід обчислюється по фактичних обсягах виробництва в натуральному виразі в середньому за декілька років за цінами, що діють на момент визначення розмірів збитку.

Витрати на відновлення гумусу і елементів мінерального живлення рослин в родючій ґрунтовій масі ( $B_e$ ) визначають за формулою:

$$B_e = Z_e / 0,08 + B_{PK} , \quad (7)$$

де:  $B_e$  – вартість внесення тони гною;  $Z_e$  – запаси гумусу в родючій ґрунтовій масі;  $B_{PK}$  – загальна вартість фосфору, калію; 0,08 – коефіцієнт гуміфікації гною.

Об'єм органічних добрив ( $O_{od}$ ), потрібних для відновлення втрачених запасів гумусу (940 т), визначають за формулою:

$$O_{od} = B_e : 0,08 . \quad (8)$$

*Оцінка упущеної вигоди за час відновлення ділянки.* З огляду на те, що органічних добрив потрібно внести на пошкоджену ділянку у багато разів більше, ніж допускає норма їх річного внесення (150-200 т/га), для відтворення родючості втраченої ґрунтової маси буде потрібно декілька років для відновлення пошкодженої ділянки.

Число років відновлення ділянки ( $T_e$ ) визначається за формулою:

$$T_e = O_{od} : D_e \times S + T, \quad (9)$$

де:  $O_{od}$  – загальна кількість органічних добрив;  $D_e$  – доза річного внесення добрив на гектар;  $S$  – площа пошкодженої ділянки;  $T$  – число років, потрібне на меліоративну підготовку ділянки після завершення внесення органічних добрив.

*Розрахунок сум страхового відшкодування.* Страхове відшкодування виплачується у розмірі фактичного збитку, але в межах страхової суми, встановленої договором. У тому випадку, коли вона нижча за страхову вартість ділянки, розмір страхового відшкодування зменшується пропорційно відношенню страхової суми до страхової вартості ділянки. Розраховують страхове відшкодування за формулою:

$$C_e = C_c \times Z_c : BZ_{cm}, \quad (10)$$

де:  $C_e$  – страхове відшкодування;  $C_c$  – страхова сума;  $Z_c$  – збиток страхувальника;  $BZ_{cm}$  – страхова вартість земельної ділянки.

Страхування дозволить перерозподіляти засоби страхового земельного фонду як по територіях України, так і в часі залежно від місця прояву несприятливих впливів на сільськогосподарські угіддя. Такий перерозподіл економічно вельми ефективно в умовах великих відмінностей природно-кліматичних зон України. У часі перерозподіл засобів відбуватиметься для кожного страхувальника особливо: у спокійні роки він лише виплачуватиме страхові внески, в несприятливих по негативному прояву страхових випадків – отримувати страхове відшкодування понесених збитків.

Разом з розподільною функцією організація земельного страхування виконуватиме мотиваційні, контрольні і стимулюючі функції. У контакті з комітетами із земельних ресурсів і землеустрою можливо контролювати виконання страхувальниками агротехнічних, лісо-меліоративних і інших ґрунтозахисних заходів, витрати на рекультивацию пошкоджених ділянок, що виступатиме мірою не лише прямого захисту інтересів учасників земельних відносин, але і підвищить їх зацікавленість до дотримання вимог раціонального землекористування. Дослідження показали, що до сільськогосподарського страхування в Україні можуть бути залучені всі страхові організації, що діють зараз. Можливий і варіант, коли організовується особлива нова система спеціально для страхування земель взагалі або лише сільськогосподарських угідь зі своєю регіональною мережею і централізацією більшості фінансових операцій. Проте досвід страхових компаній, що діють, показує, що високий рівень централізації утруднює роботу із страхувальниками. Для них більш підходить така організа-

ція, коли всі операції, пов'язані із страхуванням, здійснюються на місцях. Тому доцільнішою представляється схема, по якій для страхування земель використовуватимуться регіональні страхові організації, що діють, і лише при їх відсутності і в міру необхідності створюватимуться нові.

Створення спеціалізованих підрозділів у складі страхових організацій, що діють, дозволить не лише реально акумулювати засоби на проведення попереджувальних (протиерозійних і інших ґрунтозахисних заходів) і відновних робіт, але і полегшить діяльність земельних комітетів в частині контролю і стимулювання виконання землекористувачами комплексу обов'язкових заходів щодо охорони земель. Завданням земельних комітетів, у свою чергу, повинне стати інформаційно-аналітичне забезпечення страхових організацій: створення бази даних по об'єктах страхування, облік і класифікація страхових випадків, розробка пропозицій за об'ємом і порядку фінансування превентивних заходів, направлених на зниження ризиків господарської діяльності.

Можливий варіант організації страхування сільськогосподарських земель і схема відносин основних його учасників представлені на. Цифрами на схемі позначена послідовність дій учасників страхового процесу. Пунктирна лінія означає можливість, але не обов'язковість такої участі. При організації земельного страхування можливий, наприклад, варіант, коли оцінкою збитку займатиметься служба незалежних фахівців - оцінювачів розмірів збитку. В цьому випадку підвищується достовірність інформації про збиток, нанесеної власникові (користувачеві) земельної ділянки, проте і зростає вартість страхових послуг. Крім того, збільшення числа учасників страхування може понизити оперативність страхового процесу. З врахуванням сказаного можуть вважати за краще використовувати для оцінки величини збитку варіант прямих відносин землекористувачів і страхових організацій, що мають свою службу оцінювачів.

Для кращого розуміння пропонованої схеми страхування сільськогосподарських угідь розглянемо її основні блоки.

Процес починається з ознайомлення страхувальника з правилами страхування, що розробляються страховою організацією, узгодження умов страхування і укладення договору. Оцінку земельної ділянки страхова організація запрошує в службі земельного кадастру України (кадастрових бюро при комітетах із земельних ресурсів і землеустрою). Страхові внески оплачуються землекористувачами в терміни, встановлені договором. Страхувальникові може бути надане право вирішувати – сплатити річний внесок одноразово або частинами. Договір страхування набирає чинності з моменту сплати першого страхового внеску, після чого страхова організація видає

страхувальникові страхове свідоцтво. Аналіз загальної страхової практики свідчить, що договори страхування полягають, як правило, на один рік. В той же час в разі передачі землі в оренду, при інших формах тривалого користування страховий договір може полягати і на триваліші терміни, із сплатою страхової премії частинами, щорік, або одноразово.

У договорі страхування обумовлюють обов'язки страхувальників по виконанню встановлених для даної місцевості обов'язкових заходів щодо охорони земель, включаючи природоохоронні агротехнології, а також залежних від них заходів попередження втрати і пошкодження земельної ділянки.

Якщо пошкодження застрахованої ділянки сталося унаслідок безгосподарності, невиконання передбачених договором умов, страхове відшкодування по ньому не виплачується або виплачується частково. На підставі документів, підтверджуючих факт і обставини настання страхового випадку, направлених в страхову організацію комітетом із земельних ресурсів і землеустрою, а при необхідності – природоохоронною прокуратурою, і з врахуванням власних обстежень постраждалої ділянки страхова організація складає акт про пошкодження земельної ділянки, визначає вартість робіт на його відновлення, розраховує суму страхового відшкодування.

Страхове відшкодування виплачується в строк не більше 30 днів з дня здобуття повідомлення про страховий випадок. Якщо за цей час страхове відшкодування виплатити не представляється можливим (у зв'язку, наприклад, з тим, що у даній справі ведеться розслідування), питання про виплату або відмову вирішується після здобуття вирішення (постанови, вироку) суду або іншої уповноваженої на те організації.

В разі значного розміру страхового відшкодування і довготривалого періоду відновлення порушеної ділянки страхова організація може виплачувати його поетапно за вже виконані відновні роботи через банк, обслуговуючий страхову організацію. Механізм таких виплат може бути наступний: страхова компанія перераховує установі банку що належить землевласникові суму страхового відшкодування і кошторис запланованих робіт по відновленню ділянки, на підставі якої банк і періодично переводитиме страхувальникові відповідні суми. Спочатку постраждалому землевласникові перераховується авансовий платіж, подальші виплати – при пред'явленні документів на вже виконані роботи. Такий порядок виплати страхових відшкодувань забезпечить і цільове використання засобів, що виділяються, і полегшить контроль за їх використанням.

При негативній техногенній дії на ділянку втрата або зниження його продуктивних можливостей відбувається з вини певних третіх



(фізичних або юридичних) осіб. У подібних випадках страхова організація в межах суми страхового відшкодування може пред'являти позов до винних в спричиненні збитку інтересів страхувальника, оскільки після оплати страховиком страхового відшкодування до нього переходять в межах виплачених сум ті права, які страхувальник мав по відношенню до відповідальних за заподіяний збиток. В разі відмови від компенсації витрат страховій організації сума виплаченого страхового відшкодування стягається через суд. Спеціалізовані страхові організації мають більше можливостей професійно довести винність підприємств або фізичних осіб, що порушили законодавство в області охорони сільськогосподарських земель. До того ж землекористувачам, з властивою їм в більшості випадків недостатньою юридичною обізнаністю, відсутністю засобів на судові і адміністративні тяжби, боязню вступати в конфлікт з адміністрацією крупних підприємств, простіше внести страховий платіж і бути упевненими в страховому захисті і відшкодуванні можливого збитку.

Що найбільш зажадалася такого роду страховий захист може стати в зонах, особливо схильних до негативних дій природного і техногенного характеру. Сюди можна віднести землі південних економічних районів, найбільшою мірою схильні до стихійних лих, а також землі, розташовані поблизу крупних підприємств хімічної і металургійної промисловості, атомних електростанцій, великих міст і транспортних артерій.

### **Висновки**

Формування системи страхування сільськогосподарських земель потребує організуючої участі держави у виробленні правил і створенні необхідних для цього умов. Перш за все потрібно буде включити в Закону України „Про особливості страхування сільськогосподарської продукції з державною підтримкою” додаткову статтю „Про страхування земель сільськогосподарського призначення”, що закріплює державно-комерційний характер страхування, участь бюджету в його фінансуванні, порядок його наукового, технічного і кадрового забезпечення. Необхідно також:

- сформувати банк даних про схильність територій дії небезпечних природних і техногенних процесів (їх інтенсивності, площі поширення, міри безпеки), необхідних для встановлення страхових тарифів;
- зорієнтувати державний земельний кадастр на інформаційне забезпечення страхування земель;
- сформувати у складі страхових організацій спеціалізовані підрозділи по страхуванню сільськогосподарських земель;
- визначити порядок фінансування страхування сільгоспугідь за рахунок коштів цільових бюджетних фондів;
- організувати підготовку фахівців із земельного страхування;

- залучити наукові організації для підготовки пропозицій за умовами діяльності страхових компаній, земель, що займаються страхуванням, а також програм навчання фахівців з цієї проблеми.

- вирішити питання фінансування науково-дослідних робіт і підготовки кадрів по питаннях земельного страхування.

Створення і впровадження ефективної системи страхування земель при її активній державній підтримці дозволить значно збільшити вступ грошових коштів з позабюджетних джерел на запобігання і ліквідацію негативних наслідків природних і антропогенних процесів, сприятиме підвищенню фінансової стійкості землеробського виробництва.

Страхування якісного стану земельних ділянок може забезпечити відшкодування збитків при страхових випадках природного і техногенного походження за непередбачених, надзвичайних, аномальних подій. Оцінку збитків від погіршення якісного стану земель можна визначати на підставі методичних підходів вартості еквівалентної кількості: мінеральних добрив, напівперепрілого гною, недоотриманого урожаю. Обов'язковими документами для страхування є еколого-агрохімічний паспорт та проект землеустрою. Антропогенні й організаційно-правові ризики слід зменшувати вдосконаленням адміністративно-правової відповідальності.

### Список літератури

1. *Базилевич В. Д.* Страхова справа / *В. Д. Базилевич, К. С. Базилевич.* – 5-те вид., стер. – К.: Знання. – 2005. – 352 с.
2. *Віленчук О. М.* Формування системи страхування екологічних ризиків / *О. М. Віленчук.* – Ж.: ДВНЗ “Державний агроекологічний ун-т”. – 2007. – 260 с.
3. Закон України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження родючості ґрунтів” із змінами / [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Верховної ради України. – Режим доступу: <http://zakon/rada.gov.ua>.
4. Закон України „Про оренду землі” від 06.10.1998 № 161-XIV// Відомості Верховної Ради України від 17.11.1998 р., №46, стаття 280.
5. Закон України „Про страхування” від 07.03.1996 №85/96 – ВР// Відомості Верховної Ради України від 30.04.1996 р., №18, стаття 78.
6. *Кошель А. О.* Страхування ризиків у використанні земель / *А. О. Кошель* // Землеустрій і кадастр. – 2008. – №3. – С. 69–74.
7. *Кошель А.* Страхування земельних ділянок як спосіб захисту майнових інтересів власників землі / *А. Кошель, А. Мартин* // Землевпорядний вісник. – 2009. – №2. – С. 33–36.
8. *Навроцький С. А.* Оцінка економічної ефективності запобіжних заходів у сільському господарстві / *С. А. Навроцький* // Фінанси України при переході до ринку: теорія і практика. – Луцьк.: Вежа, 1996. – С. 60–63.
9. *Навроцький С. А.* Концептуальні засади створення національної системи страхування сільськогосподарських ризиків / *С. А. Навроцький* // Наука й економіка. – Хмельницький: ХЕУ, 2008. – Вип. 2. – С. 292–298.
10. *Title insurance in the United States* // [Електронний ресурс] [http://en.wikipedia.org/wiki/Title\\_insurance\\_in\\_the\\_United\\_States](http://en.wikipedia.org/wiki/Title_insurance_in_the_United_States).

*В статье обоснована необходимость страхования земель сельскохозяйственного назначения от ухудшения их качественного состояния. Предложены методические рекомендации по оценке ущерба в результате ухудшения качественных показателей земельных участков при наступлении страхового события природного или техногенного происхождения.*

**Страхование, земельный участок, качественное состояние, оценка ущерба.**

*The paper substantiates the need for insurance of agricultural land from worsening their quality status. Proposed guidelines for assessment of losses due to deterioration of land quality indicators when the insured event of natural or anthropogenic.*

**Insurance, land, quality condition score loss.**

УДК 334.330.46

## **ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА: ФІНАНСОВИЙ АСПЕКТ**

***В. Д. Войтук, доктор технічних наук, професор  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України***

***А. В. Войтук, кандидат економічних наук  
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»***

*В статті розглянуто понятійний апарат, що розкриває сутність понять «механізм», «організаційно-економічний механізм», «технічний потенціал». Представлено організаційно-економічний механізм інноваційного розвитку технічного потенціалу. Розглянуті сучасні підходи до вирішення даної проблеми й обґрунтований підхід щодо їх удосконалення.*

***Механізм, організаційно-економічний механізм, технічний потенціал, аграрне виробництво.***

**Постановка проблеми.** Сьогодні особливої актуальності набуває питання продовольчої безпеки України, яка залежить від якості і валового врожаю, що потребує вивчення концептуальних підходів до підвищення рівня технічної забезпеченості та раціонального використання матеріально-технічних ресурсів агропромислового комплексу.

© В. Д. Войтук, А. В. Войтук, 2015

**Мета досліджень** полягає в розробці рекомендацій щодо побудови структури організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку техніко-технологічного потенціалу аграрного виробництва з урахуванням сучасних процесів в Україні.

**Результати досліджень.** Розвиток ефективного аграрного виробництва в умовах глобалізації економіки та жорсткої конкуренції на ринку сільськогосподарської продукції вимагає постійної і цілеспрямованої технічної модернізації аграрної галузі. Для сучасного стану аграрного виробництва України, характерно істотне зниження і системна деградація машинно-тракторного парку сільськогосподарської техніки. Це впливає на виробничі та економічні показники діяльності аграрного виробництва. Технічна модернізація є рушійною силою для зниження собівартості і підвищення якісних характеристик сільськогосподарської продукції, а також є «двигуном» прогресивного розвитку аграрної галузі. Реальний стан та темпи відновлення матеріально-технічної бази аграрного виробництва та в сучасних економічних умовах для виробників багато в чому залежать від фінансового стану, розміру підприємства, ефективності господарської діяльності та інших критеріїв, які можуть впливати на доступність запозичених коштів та коштів державної підтримки.

Технічний потенціал аграрного виробництва правомірно розглядати як складову частину виробничого потенціалу АПК. У вузькому сенсі він являє собою сукупність технічних засобів, які здатні виконувати певні технологічні операції при виробництві відповідної продукції в заданих обсягах. Крім наявного складу машинно-тракторного парку на технічний потенціал аграрного виробництва і наявні втрати врожаю впливає технічний рівень машин, виробничі витрати, рівень їх сервісного супроводження, ступінь підготовки інженерно-технічних працівників, професійний рівень механізаторських кадрів. Тому поняття «Технічний потенціал» має представляти не тільки технічний, але й технологічний, економічний, а так само і соціальний аспект сільськогосподарського виробництва через вплив ергономічних характеристик машин, зайнятість і кваліфікацію працівників галузі, умови та рівень оплати їхньої праці.

Отже, сукупний технічний потенціал всіх учасників спільного виробництва сільськогосподарської продукції можна розглядати як інтегрований фактор його ефективності. Для реалізації рішення вказаної проблеми розроблено принцип формування технологічного, економічного і соціального результату ефекту від розвитку та реалізації технічного потенціалу, який представлено на рис. 1.

Одна з найважливіших особливостей сільськогосподарської техніки полягає не тільки в економії праці, часу та інших ресурсів, а й у тому, щоб максимально сприяти підвищенню врожаю.

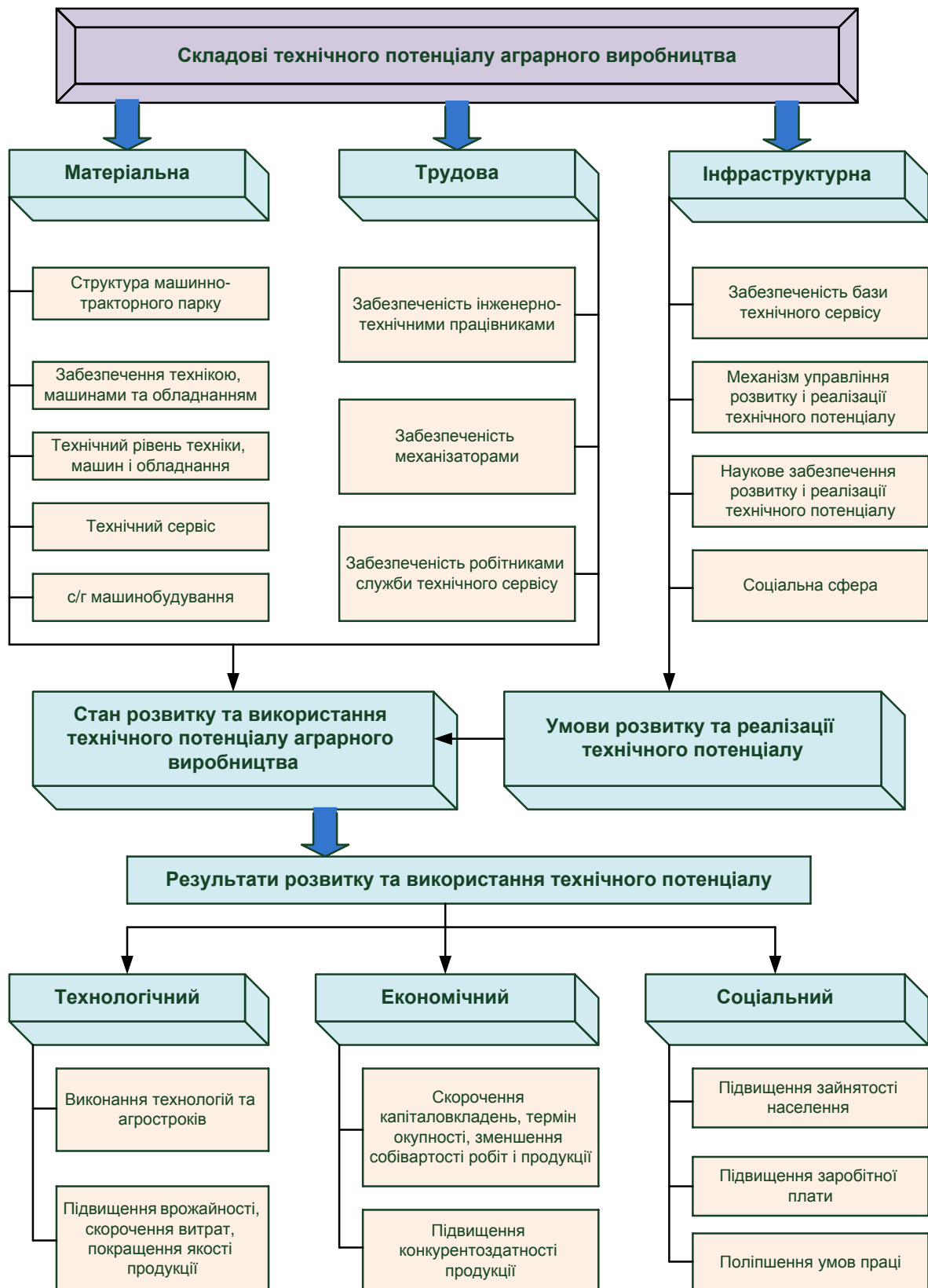


Рис. 1. Схема формування та розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва.

Завдяки цьому господарства, краще забезпечені технікою, мають можливість ширше застосовувати прийоми підвищення врожай-

ності, вносити більше добрив, скорочувати терміни посіву та збирання і т. ін. Зі зростанням врожайності підвищується продуктивність праці, знижується собівартість продукції. Таким чином, збільшуються обсяги виробництва, здешевлюється продукція, тобто забезпечується рентабельність підприємства.

Необхідно відмітити, що кількісний склад та технічний стан матеріально-технічної бази не дозволяють виконувати механізовані роботи у встановлені агротехнічні терміни, а деякі роботи не виконуються взагалі, що погіршує технологічний рівень аграрного виробництва. Без відновлення та розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва організаційно-економічні перетворення в агропромисловому комплексі не дають позитивних результатів. Рішення проблеми відтворення технічного потенціалу вимагає здійснення комплексу заходів. Формуванню механізму відновлення технічного потенціалу повинен передувати аналіз його стану, облік факторів, що впливають на стан машинно-тракторного парку, визначення нормативної потреби і дефіциту технічного потенціалу. Дія механізму базується на фактичному стані технічного потенціалу, і з урахуванням розміру його дефіциту визначаються основні напрями його відновлення і розвитку.

### **1. Динаміка наявності тракторів і зернозбиральних комбайнів у сільськогосподарських підприємствах України в 2000–2014 рр.**

Види машин	Роки						2014 р. у % до 2000 р.
	2000	2010	2011	2012	2013	2014	
Усього тракторів, включаючи трактори, на яких змонтовані машини	318927	151287	147131	144947	140541	130811	41,0
Зернозбиральні комбайни	65240	32750	32062	31158	29364	27196	41,7

Джерело: Розраховано за даними: Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2014 році. Статистичний бюлетень. – К.: Державна служба статистики, 2015. – С. 7.

Як видно з даних табл. 1, відбулося скорочення кількості всіх видів сільськогосподарської техніки, окрім роздавачів кормів для свиней. Відзначимо, що вступ України до СОТ поставило принципово нові завдання перед аграрними виробниками щодо підвищення конкурентоспроможності та якості своєї продукції, при вирішенні яких рівень технічної оснащеності є одним з ключових факторів. Скорочення кількості аграрної техніки – природне явище на тлі технічного прогресу, зокрема модернізації сучасної аграрної техніки.

З цією метою нами запропонований організаційно-економічний механізм модернізації технічного потенціалу аграрного виробництва, який передбачає тісний взаємозв'язок між державою, наукою, фінансовими інститутами, організаціями, що виробляють аграрну техніку та обладнання, а також аграрними виробниками, які є центральною ланкою даного механізму.

Розвиток технічного потенціалу залежить від наявності ефективного організаційно-економічного механізму. Однак багато науковців у своїх дослідженнях з питань технічного потенціалу в основному зосереджують увагу на розв'язання окремих питань, а не в комплексі тобто формування цілісного механізму розвитку технічного потенціалу [1-7]. Організаційно-економічний механізм інноваційного розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва – це сукупність всіх взаємопов'язаних складових, які включають в себе рівень забезпеченості аграрного виробництва сільськогосподарською технікою, розвиток аграрного машинобудування, механізми державної підтримки, кадрову оснащеність, фінансово-кредитну систему, що сприятиме досягненню очікуваних економічних, соціальних, екологічних та інших результатів. Причому, всі ці складові потрібно розглядати як з позицій держави та на регіональному рівні, метою яких є вирішення соціально-економічних питань, так і з позицій суб'єктів аграрної діяльності, метою яких є отримання прибутку.

Функціонування організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва включає поєднання двох складових: організаційної, що передбачає формування системи різних інститутів, що мають організаційний вплив на суб'єкти аграрної діяльності та суміжні сектори економіки; - економічної (податкова система, фінансова політика, інвестиційна діяльність тощо).

Організаційно-економічний механізм інноваційного розвитку технічного потенціалу є цілісним утворенням з чітко вираженою структурою – підсистемами, які її формують за двома базовими блоками (організаційним й економічним), між якими налагоджена система стійких взаємозалежностей, тобто деструктивність однієї підсистеми спричиняє деструктивність іншої та, як наслідок, усього механізму, і навпаки (рис. 2). З підвищенням значення аграрної галузі в економіці країни збільшується участь держави в управлінні аграрним комплексом. В Україні аграрну галузь визнано одним із ключових секторів національної економіки. Відповідно, це вимагає особливих підходів до управління аграрними підприємствами.

Ключовими блоками організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва є забезпечення його розвитку, важелі державного регулювання.

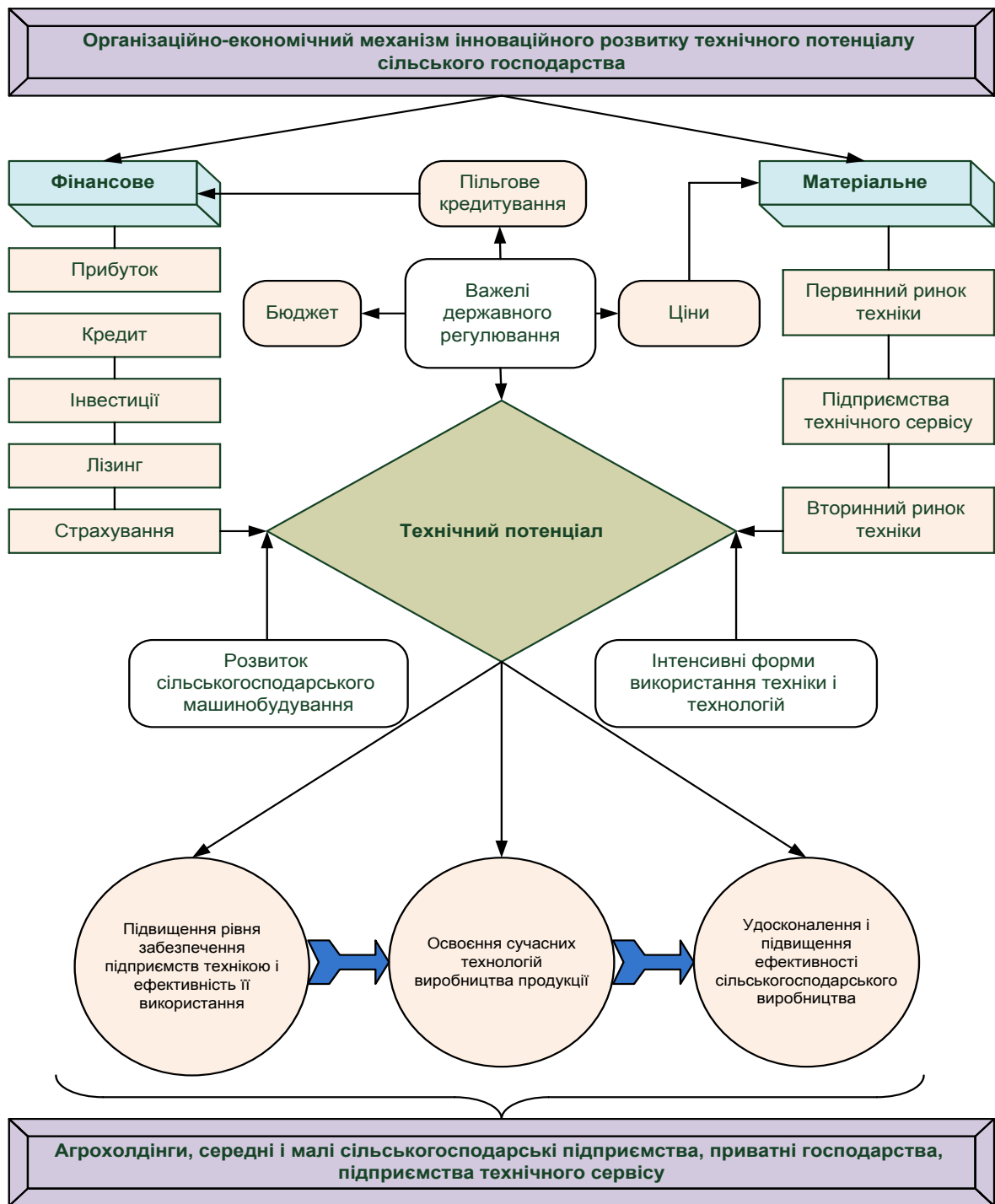


Рис. 2. Схема організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва.

Забезпечення процесу розвитку технічного потенціалу має два напрямки: фінансове і матеріальне. Фінансове забезпечення потенціалу включає як власні джерела фінансування - прибуток, дохід аграрних виробників, так і позикові - кредит, лізинг, що має спричинити за собою залучення банківських та інших фінансових структур в аграрне виробництво. Необхідно також залучати інвесторів. Матеріальне забезпечення представлено первинним і вторинним ринками



аграрної техніки та підприємствами технічного сервісу. Прискорення темпів розвитку аграрного виробництва вимагає різкого збільшення випуску і постачання сільському господарству тракторів, комбайнів, автомобілів та інших машин.

Механізм розвитку технічного потенціалу повинен включати такі важелі державного регулювання як: ціни, тобто контроль цін на засоби виробництва, ресурси, забезпечення гарантованих цін на продукцію АПК; бюджет, тобто фінансування цільових програм, система субсидій, компенсацій та дотацій, розвиток системи страхування, бюджетні позички; інвестиції в аграрне виробництво, їх стимулювання, розвиток лізингу; кредити, тобто субсидування процентної ставки за кредитами, пільгове кредитування, виділення довгострокових кредитів. Дія цього механізму в повній мірі повинно забезпечувати організаційну спрямованість і взаємну узгодженість всіх структурних блоків і ланок. В результаті, по-перше, повинен підвищитися рівень забезпеченості сільськогосподарських підприємств технікою і рівень ефективності її використання; по-друге, повинно здійснитися впровадження та освоєння сучасних технологій виробництва аграрної продукції; по-третє, все це спричинить удосконалення аграрного виробництва та підвищення його ефективності.

Вирішення проблем аграрного виробництва напряму пов'язане з переведенням галузі на сучасні агропромислові технології. Необхідно якнайшвидше впровадження новітніх наукових розробок в аграрній сфері. Підвищення технологічного рівня стає стратегічним фактором зміцнення конкурентоспроможності аграрного виробництва, а для специфічних українських агрокліматичних умов – одним з базових умов стабільності і стійкості роботи АПК.

**Висновок.** В роботі показано, що реальний стан та темпи відновлення технічний потенціалу аграрного виробництва в сучасних економічних умовах не відповідає його техніко-технологічним передумовам і багато в чому залежать від фінансового стану, розміру підприємства, ефективності господарської діяльності та інших критеріїв, які можуть впливати на доступність запозичених коштів та коштів державної підтримки. Доведено, що забезпечення процесу розвитку технічного потенціалу має два напрямки: фінансове і матеріальне. Для реалізації вказаного розроблені шляхи формування та розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва та організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку технічного потенціалу аграрного виробництва

### Список літератури

1. *Великий* тлумачний словник сучасної української мови / Уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. – К.; Ірпінь: ВТФ “Перун”, 2002. – 1440 с.

2. *Экономический словарь*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://abc.informbureau.com/html/oicssenoaaiue\\_iaoaieci.html](http://abc.informbureau.com/html/oicssenoaaiue_iaoaieci.html)
3. *Організаційно-економічний механізм управління ефективною діяльністю проєктних організацій* / *І. Моргачов* // *Схід*. – 2006. – № 5.
4. *Козаченко Г. В.* Організаційно-економічний механізму як інструмент управління підприємством / *Г. В. Козаченко* // *Економіка. Менеджмент. Підприємство*. – 2003. – № 11.
5. *Мандзюк О. М.* Сутність та особливості організаційно-економічного механізму трансформації відносин власності [Текст] / *М. О. Мандзюк* // *Вісник національного університету водного господарства та природокористування*. – 2011. – № 2. – С. 139–144.
6. *Белая И. П.* Концептуальная модель организационно-экономического механизма управления гибкостью производственных систем / *И. П. Белая, П. В. Егоров* // *Вісник Донецького університету / Серія В: Економіка і право*. – Донецьк: ДонНУ, 2004. – № 2. – С. 7–16.
7. *Лузан Ю. П.* Організаційно-економічний механізм забезпечення розвитку агропромислового виробництва України: теоретично-методологічний аспект / *Ю. П. Лузан* // *Економіка АПК*. – 2011. – № 2. – С. 3–12.

*В статье рассмотрены понятийный аппарат, раскрывающий сущность понятий «механизм», «организационно-экономический механизм», «технический потенциал». Представлены организационно-экономический механизм инновационного развития технического потенциала. Рассмотрены современные подходы к решению данной проблемы и обоснованный подход к их усовершенствованию.*

***Механизм, организационно-экономический механизм, технический потенциал, аграрное производство.***

*In paper the conceptual apparatus that reveals the essence of concepts of "mechanism", "organizational and economic mechanism", "technical capacity". Presented organizational and economic mechanism of innovative development of technological capabilities. The modern approaches to solving its problem and reasoned approach to improve them.*

***Mechanism, organizational and economic mechanism, technical capacity, agricultural production.***

## ПРОВАЙДИНГ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ: СТРАТЕГІЇ ТА МЕХАНІЗМИ

***О. Є. Гудзь, доктор економічних наук  
Державний університет телекомунікацій***

*У статті розглянуто теоретичні й практичні аспекти формування стратегій та механізмів провайдингу технологічних інновацій, здійснено моніторинг існуючих проблем та запропоновані авторські підходи щодо їх вирішення у світлі реалій сучасного економічного простору.*

***Технологічні інновації, провайдинг інновацій, стратегії технологічного розвитку, механізми провайдингу інновацій.***

**Постановка проблеми.** Нововведення виступають основою творчого процесу, який викликає зростання продуктивності праці та примноження кількості робочих місць. Інновації вирішують широкий спектр питань, які розраховані на якісні зміни. У змаганнях між економічними агентами перемагає той, хто зумів адаптувати свою стратегію розвитку до особливостей зовнішнього середовища, досяг успіхів у комерціалізації інновацій. Технологічна компонента слугує основою інноваційного потенціалу і пріоритетним імперативом забезпечення конкурентних переваг національної економіки. Техніка як фактор виробництва містить і технологію як внутрішній закон, що визначає структурні та функціональні форми її існування. Актуальною історичною формою цього фактора став технічний капітал, що визначає глобальне лідерство розвинутих країн. Економічну сутність технічного фактора характеризує ступінь технічного та технологічного розвитку виробництва, що слугує передумовою появи наукомістких виробництв і призводить до підвищення віддачі капіталу і трудового фактора [2]. Водночас, розповсюдженою є теза, що саме новації, випереджаючий розвиток високотехнологічних галузей, зі значною часткою доданої вартості є рушійною силою, що здатна забезпечити довготривале економічне зростання. Тому визначення стратегії і механізмів провайдингу технологічних інновацій є одним з основних завдань, виконання якого забезпечує ефективне функціонування економічної системи, оскільки недоліки в стратегіях і механізмах провайдингу технологічних інновацій зумовлюють економічну кризу і втрату конкурентоспроможності та відсталість підприємств України.

**Аналіз останніх досліджень.** Пошуком дієвих стратегій і механізмів провайдингу технологічних інновацій, займалося багато

© О. Є. Гудзь, 2015

вчених, зважаючи на те, що проблеми активізації провайдингу інновацій вимагають термінового розв'язання, українські. З проміж них, особливо вагомими вважаємо розробки: В. Андрійчука, А. Войтюк, В. Галушки, О. Гудзинського, П. Друкера, Г. Єрмакова, Д. Ісмаєва, К. Найта, В. Онегіної, О. Олійника, К. Оппенлендера, П. Стецюка, М. Маліка, П. Саблука, Б. Санто, А. Чупіса, Й. Шумпетера, А. Ястремського. Переважно, дослідники наголошують, що суттєві зрушення щодо провайдингу технологічних інновацій, вимагають потужного фінансового забезпечення та державного регулювання. Проте, незважаючи на значний внесок вчених у вивчення цих питань, за межами сучасних досліджень залишилися визначення можливостей провайдингу технологічних інновацій у зрізі інноваційної збалансованості, що висуває принципово нові вимоги до стратегій і механізмів цього процесу і означає простір для подальшого розгортання наукових пошуків і дискусій.

**Мета досліджень:** розгляд теоретичних і практичних аспектів формування стратегій та механізмів провайдингу технологічних інновацій, виявлення існуючих проблем та розробка авторських підходів щодо їх розв'язання у світлі запитів та викликів сьогодення.

**Результати досліджень.** Після ознайомлення з програмою діяльності нового уряду України створюється враження, що всі очікування на порятунок від економічного колапсу країни Кабінет Міністрів пов'язує з фінансовою допомогою ззовні. У списку цілей і завдань членів уряду багато дійсно невідкладних і дуже важливих справ. Однак серед пріоритетів державної політики не значиться розвиток інноваційної сфери та її наукового потенціалу, що грають ключову роль в економічному підйомі та інвестиційної привабливості економік країн світу. Нині у розвинених країнах конкурентними перевагами є не так матеріальні ресурси, як нові знання й технології. А конкуренцією вважається динамічний процес виявлення нового знання. Результати статистики не оптимістичні, якщо у розвинутих країнах до 90 % приросту ВВП забезпечується за рахунок впровадження нових технологій, то частка України на ринку високотехнологічної продукції, становить 0,05-0,1 %, а інноваційна діяльність характеризується структурною перебудовою, інституційною неповнотою, неузгодженістю та незбалансованістю технологічних, економічних та соціально-ціннісних аспектів. Наукомісткість промислового виробництва не перевищує 0,3 %, а частка високотехнологічної продукції постійно знижується. Частка інноваційної продукції в загальному обсязі реалізованої промислової продукції становить 3,8 %, а у країнах ЄС – 40-60 % [3, с. 127].

Світ не сповільнить у своєму розвитку, щоб дати підприємствам України можливість озирнутися і подумати. Зараз підприємства

України характеризуються технологічною відсталістю. В останні роки зростання інноваційного потенціалу відбувається на старих потужностях за рахунок переважно екстенсивних факторів, а це призводить до того, що технологічні нововведення поступово замінюються дешевою робочою силою, що загрожує системним відривом економіки підприємств України від передових країн через несумісність технологій, економіки і соціальних умов. Більшість українських підприємств, навіть у майбутньому, виявляться неконкурентоспроможними і неефективними. Наприклад, українські підприємства часто виробляють конкурентоспроможну продукцію неефективними засобами, які характеризуються високими енерго-, матеріалозатратами і трудомісткістю, низькою заробітною платою, невисокими доходами. Нині, в Україні домінуючими є виробництва третього і четвертого технологічних укладів (частка яких становить близько 80 %), а п'ятого (6-8 % загального обсягу виробництва за регіонами) і шостого технологічних укладів (1-3 %) частки мізерні.

Зараз на забезпеченість конкурентоспроможності та ефективності українських підприємств впливає ряд гальмівних чинників, серед яких відзначимо наступні: недостатність фінансових ресурсів та інформації щодо провайдингу технологічних інновацій; низький рівень попиту на інноваційну продукцію; небажання і слабка сприйнятливність підприємств до впровадження технологічних інновацій; низький рівень інноваційного потенціалу підприємств; нестача кваліфікованого персоналу; труднощі щодо кластеризації, кооперації та інтеграції з іншими підприємствами; нерозвиненість інституту державно-приватного партнерства тощо.

Цікаво, що інноваційна активність підприємств за останні п'ять років не перевищувала 7,1 %, а обсяг реалізованої інноваційної продукції склав лише 3,3 % (всього 1,5 % – реалізовано за кордон). У країнах Великої сімки кількість підприємств, що впроваджують інновації становить 70-80 % [5 с. 22].

У структурі національної економіки джерела та напрямки технологічних змін серед галузей різного ступеня наукоємності істотно різняться, що впливає на варіанти інноваційної поведінки економічних суб'єктів, а це залежать від галузевої та технологічної спеціалізації, розміру інноваційної фірми, типу товару, інноваційних цілей, джерел інновацій, наявності інноваційної інфраструктури та інститутів розвитку.

Найпоширенішою причиною низької інноваційної активності підприємств часто називають відсутність фінансових ресурсів для фінансування інновацій. Підприємства, здійснюють фінансування інновацій в межах 10 % від отриманого прибутку. Цікаво, що інновації на підприємствах здійснюються, переважно для оновлення та диве-

рсифікації продуктів, збільшення частки ринку, скорочення витрат виробництва, зниження матеріальних витрат, забезпечення сучасних стандартів якості продукції тощо.

Фінансування провайдингу технологічних інновацій повинно забезпечувати вирішення наступних завдань: формування необхідних передумов для швидкого та ефективного впровадження технічних новинок; забезпечення структурно-технологічної перебудови; збереження і розвиток стратегічного науково-технічного потенціалу; створення умов для збереження кадрового потенціалу науки і техніки, недопущення еміграції висококваліфікованих наукових кадрів.

Для реалізації поставлених завдань необхідно забезпечити якомога більший перелік джерел надходження грошових коштів, механізм їх акумулювання та вкладання в інноваційні проекти, а також систему контролю за ефективністю використання та повернення коштів. Безперечно, фінансування провайдингу технологічних інновацій має відбуватися на наступних засадах: забезпечення ефективності впровадження інновацій; диверсифікація джерел фінансування; обґрунтованість і законність способів акумуляції коштів; гнучка система фінансового забезпечення; фінансування провайдингу технологічних інновацій на всіх етапах життєвого циклу.

За останні роки основним джерелом фінансування технологічних інновацій в Україні є власні кошти підприємств, частка яких у загальному обсязі фінансування інноваційних робіт за останні 10 років збільшилась і становила 59,35 %. Проте використання самофінансування інноваційних заходів не завжди гарантує підприємствам високі темпи розвитку. При чому, освоювати технологічні інновації за рахунок власних коштів мають можливість лише великі підприємства.

До залучених джерел відносять бюджетні асигнування, кошти спеціальних позабюджетних фондів, банківські кредити, іноземні інвестиції, кошти від реалізації облігацій підприємства, кошти вітчизняних та іноземних інноваційних, венчурних, інвестиційних фондів, компаній та банків, кошти „бізнес-ангелів”, кошти, отримані на умовах франчайзингу, лізингу, селенгу, факторингу, форфейтингу, вітчизняні та міжнародні фонди, які надають гранти. Ресурси, залучені на фондовому ринку, є незначними, також незначними є і довгострокові позики комерційних банків. Обсяг фінансування інноваційних робіт за рахунок державного бюджету становив всього 1,08 %. Україна посідає не найкращі позиції в світових рейтингах. Відповідно до цього й обсяги іноземного капіталу, що вкладається в провайдинг технологічних інновацій вітчизняних підприємств, не є достатнім. В Україні інвестиційні фонди з'явилися лише в 2001 р., хоча перші спроби були ще в 1990 рр. В Україні є більше 1000 інвестиційних фондів та функціонує близько 60 інвестиційних банків, хоча останні-

ми роками вони не показують позитивну дохідність. Україні діє Асоціація приватних інвесторів, які, крім надання стартового капіталу, також надають управлінський та професійний досвід, рекомендації, необхідні зв'язки та іміджеву підтримку. Однак, незважаючи на існування цілої асоціації інвесторів, основи діяльності „бізнес-ангелів” як альтернативної форми підтримки та розвитку інноваційної діяльності в нашій державі лише формуються. Цікаво, що є бренди, мережі яких в Україні розвиваються за франчайзингом, – це: Піца Челентано, Форнетті, Наша Ряба, FitCurves, New-York-Street-Pizza, Mexx, Nike, Bosch Service та ін.

Витрати на технологічні інновації в Україні демонструють низхідну тенденцію. Дослідження і розробки у витратах на технологічні інновації становлять не більше 12-14 %, з переважанням купівлі готової техніки, машин і устаткування, що характеризує основний спосіб технологічної модернізації. Тобто, утворюється розбалансованість витрат, більше витрачається на підготовку до упровадження і зовсім невелику частку займають витрати підприємств на придбання саме інноваційних технологій.

Для фінансування технологічних інновацій може бути задіяний один або декілька з перерахованих механізмів (багатоканальне фінансування). Процес фінансового забезпечення технологічних інновацій, повинен мати стратегічний характер і ґрунтуватися на наступних принципах: підпорядкованість стратегічних завдань фінансової стратегії стратегічній меті інноваційного розвитку; варіабельність та гнучкість стосовно змін зовнішнього середовища; відповідність фінансової стратегії існуючому інвестиційному клімату, напрямам державного регулювання; паралельність розроблення маркетингової та фінансової стратегій інноваційного розвитку; прийнятний рівень ризику фінансових рішень; достатність фінансових ресурсів для реалізації проектів технологічного розвитку; ефективність фінансування.

Враховуючи коливання курсу гривні, фінансування досліджень в Україні в 15-20 разів менше, ніж в середньому в Європейському союзі. Рівень фінансування досліджень і розробок в абсолютних цифрах в Україні приблизно в десять разів нижче, ніж у Польщі, в 100 разів нижче, ніж у Росії, в 1000 разів нижче, ніж в США. Середня кошторис однієї НДР в 2013 році склала 233 тис. Грн. (що при існуючому курсі менше, ніж, зокрема, річна стипендія одного німецького аспіранта). Частка загального обсягу фінансування НДР у ВВП становила 0,77%. Бюджетне фінансування науки опустилося до позначки, нижче 0,25% ВВП, що є показником слаборозвинених країн Африки (орієнтир, визначений Лісабонською стратегією для країн ЄС – 3 %). Основні джерела фінансування НДР в Україні розподіляються між державним бюджетом (більше 48 %), бізнесом (30 %) та іноземними донорами (близько 22 %).

На протигагу світової тенденції, коли країни, постійно нарощуючи свій науково-інноваційний потенціали, покращують в результаті і інвестиційну привабливість, Україна, навпаки, його втрачає, знижуючи, відповідно, свою інвестиційну привабливість. Як свідчать дослідження компанії Battelle [6], світові валові витрати на наукові дослідження і розробки (R & D) протягом 2012-2013 рр. зросли на 2,7 % (з 1517 млрд дол. за паритетом купівельної спроможності, до 1558 млрд дол.).

Світовими лідерами за обсягами R & D витрат у були США, Китай і Японія. Характерно, що в межах позначеної тріади вищими темпами зростали R & D інвестиції Китаю. Так, протягом 2000-2013 рр. темп їх зростання становив 147,5 %, тоді як у США – 127,5 %, Японії – 113,6 %. На тлі цих країн українські валові інвестиції в інноваційну сферу економіки досить скромні – близько трьох мільярдів доларів. За показником 2013 р це в 150 разів менше, ніж у США. Беручи до уваги світові тенденції, і враховуючи взаємозв'язок між науковими дослідженнями і розробками з економічним зростанням, складно пояснити неадекватне ставлення до інновацій та науки в українському суспільстві. За міжнародними оцінками, одне робоче місце в R & D секторі економіки забезпечує функціонування більше двох робочих місць в інших її сферах.

Незважаючи на очевидні позитивні тенденції розвитку інноваційної сфери в світі, українська економіка демонструє протилежну закономірність. Феномен швидкого наукоємного економічного зростання поки що не спрацьовує. Україна невпинно втрачає свій інноваційний і науковий потенціали. У розрахунку на 10 тис. Чоловік економічно активного населення чисельність дослідників в Україні протягом 2005-2014 рр. зменшилася в 1,3 рази. За матеріалами Державної служби статистики України, на протигагу світової тенденції, в країні кількість установ, що здійснювали науково-технічну діяльність, протягом 2005-2014 рр. зменшувалася. Фактором, додатково ускладнює позначену проблему, є масштабні зміни демографічної ситуації в країні. Так, за дослідженнями Світового банку (Доповідь про світовий розвиток, 2013), трудові ресурси України зменшуються щороку майже на 160 тис. чоловік.

Нова сутність світової економіки полягає в тому, що високий рівень розвитку інноваційної сфери може бути притаманний не тільки високорозвиненим економікам. І завдяки цьому феномену країни, які не входять до клубу високорозвинених, мають можливість увійти до нього саме завдяки нарощенню потенціалу інноваційної сфери та ефективності її функціонування.

Механізм, що забезпечує процеси розвитку визначається як складовий механізму управління, і у відповідності з теорією управ-



ління повинен об'єднувати цілі, критерії, фактори, методи управління. В умовах гострої конкуренції і мінливості ситуації на ринку дуже важливо не тільки концентрувати увагу на внутрішньому стані справ підприємства, але і виробляти довгострокову стратегію. Нові стратегії неминуче вимагають нових знань. 30 років тому менеджери опанували одним навиком в рік. Сьогодні кожен день приносить їм як мінімум один новий навик. Завтра це буде відбуватися щогодини. „Важкі часи дають вам сміливість мислити про неймовірний”, - стверджував президент Intel Енді Гроув. Неймовірне раніше, стає можливим сьогодні. І одне відомо напевно: найважливіші вміння та відповіді завтрашнього дня не спираються на уміння і відповіді дня сьогоднішнього. Зміни відбувалися і відбуваються під дією трьох факторів: технології, інститути й цінності (інструменти, правила і норми).

Проблема визначення стратегій провайдингу технологічних інновацій зосереджена в тому, що майбутня конкурентоспроможність і успішність підприємств не визначається існуючими умовами і регламентами. Таким чином, необхідно переглянути, що представляє цінність для бізнесу, а що ні. Так, Hewlett-Packard отримує більшу частку прибутку на товарах, які рік тому ще навіть не випускалися. Microsoft: Windows '95 були запущені по всьому світу за один день. Нова бізнес-реальність вимагає набагато більшої гнучкості. ІТ-гуру Кевін Келлі влучно зауважив: „Зараз, багатство генерується за допомогою інновацій”. Інновації – це не просто питання технологій. Переважно технологія – це лише невелика частина процесу. Технічний прогрес не зупинити. Одна яскрава ідея неминуче тягне за собою іншу. Технології штовхають нас вгору по піраміді потреб Маслоу. Вони не питають дозволу. За інформаційними технологіями приходять біо- і нанотехнології.

Інноваційний розвиток проявляє себе цілеспрямованою і незворотнім в результаті циклічного переходу на якісно новий рівень. Вибір ефективної стратегії провайдингу технологічних інновацій стає основою успіху. Тільки правильна стратегія невпинного інноваційного просування вперед дає шанси не тільки утримати, але і поліпшити позиції всіх підприємств.

Слід зазначити, що переважна більшість ідей нових товарів генерується на основі потреб ринку (75 %), але і більшість їхніх невдач викликається саме ринковими факторами (75 %). Успіху на ринку досягають близько 65 % інновацій, хоча лише 10 % їх дійсно є новими, а 20 % тільки новими версіями відомих товарів.

Цікаво, що цілий ряд країн, які мали і мають значно менший інноваційний потенціал ніж Україна, розвиваються набагато швидше, причому переважно на основі інновацій. Зокрема, Сінгапур і Гонконг займають значні сегменти на ринку електронної техніки. Сінгапур –

держава з населенням в 4000000 чоловік і територією не більше Києва – експортує продукції на 110 млрд. дол. На рік, що значно більше Росії – найбільшій по території держави світу з населенням близько 150 млн. чоловік.

Для більш ефективної реалізації своїх можливостей підприємства повинні переходити від одиночного провайдингу технологічних інновацій до масштабного комплексному процесу генерування та освоєння нововведень, а саме, стати на шлях інноваційного розвитку. Міжнародні експерти визначають 4 фактора низької інноваційної активності українських підприємств: домінуюча частка традиційних галузей, які не є науково інтенсивними; висока інфляція, коливання курсу, високі процентні ставки не створюють сприятливого інвестиційного клімату; існуючі інструменти підтримки інновацій (інвестиційні фонди, технопарки, бізнес-інкубатори, центри трансферу технологій тощо) обмежені у фінансових можливостях; для банків більш привабливим є кредитування інших видів підприємницької діяльності [7]. Керівники підприємств серйозною перешкодою вважають занадто високі ризики і початкові витрати на інновації, невизначений попит на інноваційну продукцію і наявність сильних конкурентів. Зараз, „щоб утримати конкурентоспроможну позицію, все більше підприємств розробляють нові бізнес-моделі, підкріплюючи свої нововведення стратегічним інструментарієм” [8, с. 2].

Тим часом, успішність підприємств України на міжнародних ринках невід'ємно пов'язана з конкурентоспроможністю економіки держави. Тому стримуючими факторами для прискореного інноваційного розвитку підприємств України ми вважаємо наступні: виключення з числа основних двигунів економіки передової освіти, науки та інновацій (натомість відбудеться орієнтація України на зовнішні запозичення, які, на жаль, не використовуються для інвестицій в нові технології та засоби виробництва, за часів незалежності України її зовнішні запозичення зросли більш ніж у 17 разів, наближаючись зараз до критичних значень); неодноразові спроби реформувати національну науку і освіту залишалися, і залишатимуться "косметичними", оскільки ніколи не носили цілісного міжгалузевого характеру і не спрямовувалися на інноваційний розвиток держави; незбалансованість структури та обсягів державного замовлення на підготовку кадрів з потребами ринку праці та з перспективними напрямками розвитку країни; слабкий захист інтелектуальної власності та вміння ефективно управляти нею; між патентом і впровадженням в Україні існує величезний розрив; відсутні механізми стимулювання і заохочення інноваційної діяльності (навпаки, комерціалізації винаходів в Україні чиниться спротив через незорієнтованість на інноваційний розвиток податкову систему, суперечливе законодавство, рейдерство); мало

зарубіжних і національних інвесторів високотехнологічного бізнесу (вони не йдуть у цей сектор, враховуючи відсутність механізмів інноваційної діяльності, відповідного законодавства та стабільності).

Що ж потрібно змінити в країні, щоб вона почала рухатися шляхом інноваційного розвитку? На нашу думку, необхідні наступні кроки: заснувати дієву державну політику, спрямовану на пріоритетний науково-технологічний розвиток (досі така політика тільки декларувалася); створити керовану інноваційну модель розвитку держави за напрямками, відповідних природних і людських ресурсів країни; здійснити комплекс заходів, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності національної науки і освіти; завершити формування єдиного законодавчого поля інноваційної діяльності шляхом внесення доповнень до кількох десятків прийнятих раніше законів і різних відомчих документів та їх взаємного узгодження; забезпечити інноваційний розвиток одночасно в головних індустріально та науково розвинених регіонах України.

Але, сподіваючись на краще, хочеться виходити з того, що українська влада глибоко замислилась в світлі здійснення реформ розвитку економіки, які від неї чекає не тільки український народ, але і багато держав, що підтримують Україну в її демократичних перетвореннях. Інноваційний розвиток економіки України потребує внесення пропорційних змін до нормативно-правової бази держави, що враховують як власні помилки, так і досвід такого розвитку в інших країнах, а також спираються на використання інтелектуального потенціалу та ініціативу й зацікавленість у цьому розвитку всього українського народу. При цьому конкурентоспроможність слід постійно поновлювати через активний інноваційний процес [4, с. 36].

Досвід розвинених країн світу свідчить про існування низки ефективних форм підтримки інноваційної сфери [1, с. 37-38]: гарантування державою позик, пільгове кредитування інноваційного підприємництва, податкові пільги щодо стимулювання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, податкове списання (зменшення оподаткованого доходу), податковий кредит (зменшення суми податкового зобов'язання), банківське кредитування, вкладання коштів у розвиток інноваційної інфраструктури, активне використання програмно-цільових методів у разі розподілу бюджетних коштів, зворотне та незворотне фінансування малих інноваційних фірм на конкурсних засадах, венчурний (ризиковий) капітал тощо.

**Висновок.** Ціна переходу українського народу на демократичні цінності виявилася неймовірно велика. Цей перехід ще не остаточний і вимагає напружених зусиль всього суспільства для очищення від іржі корупції, тотальної безвідповідальності. Повному перезавантаженню підлягають державна влада і всі її корумповані органи. Україна, маючи відповідні інноваційну сферу та науковий потенціал,

повинна постійно їх нарощувати. Мова йде про катастрофічний стан української науки, освіти, інноваційного розвитку галузей, від яких залежить майбутнє всієї країни – підемо ми шляхом бананових республік і повної залежності від розвинених країн або ж станемо рівними серед рівних. Майбутні інновації неможливо передбачити. Інноваційний підхід від повсякденної діяльності відрізняється прагненням досягти поставлених цілей і підбором найбільш оптимальних сценаріїв і умінням переходити від одного сценарію розвитку до наступного в найбільш сприятливий момент. Використання запропонованого підходу до формування механізмів та стратегій провайдингу технологічних інновацій дозволить спрямовувати діяльність підприємств в напрямку стратегічної моделі інноваційного розвитку, систематизувати інноваційні перетворення, організувати раціональну взаємодію всіх внутрішніх елементів системи, забезпечуючи конкурентоспроможність товарів і послуг.

### Список літератури

1. *Власова І.* Особливості фінансування інноваційної сфери в розвинених країнах світу / *І. Власова* // Вісник КНТЕУ. – 2009. – № 1. – С. 36–46.
2. *Иншаков О. В.* Теория факторов производства в контексте экономики развития [Текст] : научный доклад на Президиуме МАОН / *О. В. Иншаков.* – Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета, 2002. – С. 64–65.
3. *Кобушко І. М.* Шляхи покращення фінансування інноваційного розвитку в Україні з використанням міжнародного досвіду / *І. М. Кобушко, Е. І. Гусейнова* // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2011. – № 2. – С. 124–130.
4. *Олейнікова Л. Г.* Інноваційний розвиток як мотив детінізації економіки / *Л. Г. Олейнікова* // Фінанси України. – № 3. – 2011. – С. 35–41.
5. *Шнипко О.* Інноваційне становище України: Проблеми та перспективи / *О. Шнипко* // Вісник Національного банку України. – 2008. – № 2. – С. 22–24.
6. *Global R&D funding forecast, 2014.:* [http://www.battelle.org/docs/tpp/2014\\_global\\_rd\\_funding\\_forecast.pdf](http://www.battelle.org/docs/tpp/2014_global_rd_funding_forecast.pdf)
7. <http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/opencms/information/count...>
8. *Jay L. Abraham.* MetaMorphic Innovation: a Power Tool for Breakthrough Performance [Електронний ресурс] / *Jay L. Abraham, Daniel J. Knight* // Strategy & Leadership. – 2000 – V.28 – Режим доступу: [http://www.ergen.gr/files/Metamorphic\\_Innovation.pdf](http://www.ergen.gr/files/Metamorphic_Innovation.pdf)

*В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты формирования стратегий и механизмов внедрения технологических инноваций, осуществлен мониторинг существующих проблем и предложены авторские подходы по их решению в свете реалий современного экономического пространства.*

***Технологические инновации, внедрения инноваций, стратегии технологического развития, механизмы освоения инноваций.***

*In paper the theoretical and practical aspects of strategies and mechanisms for the implementation of technological innovation, revealed the existing problems and proposed approaches to the copyright of their decision in light of the realities of modern economic space.*

***Technological innovation, innovation, strategy, technological development, innovation development mechanisms.***

УДК 303.035.3:63:330.341.1

## **СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ АГРОІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ**

***А. В. Джошар, кандидат економічних наук  
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»***

*В статті проаналізовано стан інноваційної активності сільськогосподарських підприємств та виявлено існуючі проблеми. Систематизовано класифікаційні типи інвестицій. Виявлено ряд факторів впливу на інноваційний розвиток сільськогосподарських підприємств. Запропоновано механізм агроінноваційного розвитку підприємств сільського господарства.*

***Сільськогосподарські підприємства, інновації, інноваційна активність, механізм агроінноваційного розвитку.***

**Постановка проблеми.** В умовах сучасної ринкової економіки Україна постійно знаходиться на етапі подолання потенційних кризових ситуацій, які призводять до виникнення проблем, пов'язаних із забезпеченням стабільності та стійкості суб'єктів господарювання. Більшість підприємств аграрного сектору знаходиться у стані постійного виживання. За період проведених реформ виробництво сільськогосподарської продукції значно знизилось. Особливого занепаду зазнало тваринництво, оскільки є не рентабельним для виробництва. Поголів'я великої рогатої худоби по всіх категоріях господарств за період з 1990 рік по 2014 р. зменшилось в 6,4 рази (24623,4 тис. гол у 1990 році до 3884,0 тис гол у 2014 році).

Знизились темпи інвестицій в сільське господарство як зі сторони держави так і іноземні. Основні фонди в галузі зношені майже на 85%. Коефіцієнт вибуття основних фондів перевищує коефіцієнт оновлення в 4 рази. Крім того на селі спостерігається високий рівень безробіття, міграції, смертності, скорочення трудового потенціалу та народжуваності. Подібний стан призводить до деградації аграрного

© А. В. Джошар, 2015

сектору та не дозволяє правильно визначити стратегічний напрям розвитку підприємства, погіршує результативність управління інвестиційною політикою, ускладнює процес накопичення власного капіталу, що веде до зниження ефективності діяльності не тільки окремого підприємства, а й усієї економіки держави.

Подолання кризових явищ та вирішення існуючих проблем можливе за умови переходу до моделі інноваційного розвитку економіки в цілому, та аграрної економіки зокрема, як основної тенденції сучасного світу. Застосовуючи інноваційні продукти (новітні технології, нову або покращену продукцію та ін.), підприємства збережуть конкурентні переваги та будуть в змозі зайняти монопольну позицію на ринку. Крім того, це дозволить скоротити витрати виробництва та отримувати додатковий прибуток.

Таким чином, стійкі темпи економічного зростання підприємств галузі АПК та подолання кризових явищ залежать від рівня агроінноваційного розвитку суб'єктів підприємницької діяльності і рівня інноваційної активності держави.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженням різних аспектів інноваційного розвитку підприємств в аграрній сфері присвячені праці вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких: Антонюк Л. Л., Вільямс В. Р., Коюда В. О., Прахалад К. К., Чабан В. Г., Шевченко А. В., Шумпетер Й. та багато інших [1-11].

Незважаючи на значні здобутки та напрацювання вчених, інноваційний розвиток в аграрній сфері залишається мало вивченим і тому потребує подальшого фундаментального дослідження.

**Мета досліджень:** виявлення існуючих проблем інноваційного процесу та напрямів інноваційного розвитку сільськогосподарських підприємств.

**Результати досліджень.** Вимоги сьогодення передбачають, що інноваційна активність підприємства – основа його стратегічного та перспективного розвитку. Інноваційний розвиток в сільському господарстві (далі агроінноваційний розвиток) – це систематизоване використання наукових факторів виробництва в технологічній, організаційній, економічній та управлінській діяльності для забезпечення високого рівня конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на внутрішніх та зовнішніх ринках та стійкий темп економічного зростання галузі. На відміну від інших видів економічної діяльності інноваційні процеси в сільському господарстві мають свою специфіку. Вони відрізняються різноманітністю технологічних, організаційних, галузевих та регіональних особливостей. Лише в сільському господарстві крім економічних; соціально-екологічних; техніко-технологічних і виробничих виділять ще і селекційно-генетичні типи інновацій (табл. 1) [7]. Кожен з яких має власну структуру та зміст, свої рушійні сили та ризики.

## 1. Класифікація інвестицій в сільському господарстві.

Тип інновації	Змістове наповнення
Селекційно-генетичні	Нові сорти та гібриди с./г. рослин; нові породи та типи тварин; виведення та створення рослин та тварин, які стійкі до несприятливих умов середовища, хвороб та шкідників
Техніко-технологічні і виробничі	Біологізація та екологізація землеробства; використання нової техніки та технологій в тваринництві та рослинництві; нові ресурсно-зберігаючі технології виробництва та зберігання продуктів харчування
Організаційно-управлінські та економічні	Розвиток кооперацій та формування інтегрованих структур в сільському господарстві; нові форми тех. обслуговування та забезпечення ресурсами; нові форми організації праці; маркетинг інновацій; форми та механізми інноваційного розвитку
Соціально-екологічні	Формування системи кадрів науково-технічного забезпечення аграрного сектору; покращення умов праці та вирішення питань охорони здоров'я, екологізація навколишнього середовища, умов праці та відпочинку населення

Унікальністю інноваційного процесу в сільському господарстві є взаємодія промислових засобів виробництва та живих організмів (рослини і тварини). В.Р. Вільямс писав: «Растения требуют для своего процветания непрерывной наличности или беспрерывного притока четырех групп факторов – света, тепла, воды и питательных веществ при непрерывном условии одновременной и совместной наличности всех четырех факторов в оптимальных количествах при безусловной равноценности и независимости их» [2].

Тому, управління інноваціями в сільському господарстві потребує врахування не лише економічних та соціальних законів, а і законів природи: рівнозначності, незамінності та сукупності життєвих факторів, закон мінімуму, оптимуму та максимуму. Дія цих законів передбачає неможливість заміни певного фактору чи його максимізації при оптимальному чи мінімальному його використанні. Такі маніпуляції можуть призвести до безповоротних процесів та наслідків. Так К. А. Тімірязєв стверджував «Нигде, быть может, ни в какой другой деятельности не требуется взвешивать столько разнообразных условий успеха, нигде не требуется таких многосторонних сведений, нигде увлечение односторонней точкой зрения не может привести к такой неудаче, как в земледелии» [6].

Дослідження інновацій показали, що агроінноваційний розвиток формується під впливом різноманітних факторів. Одна частина таких факторів сприяє інноваційному розвитку підприємства, а інша навпаки, стримує його. Ряд науковців, які займаються питаннями інноваційного розвитку підприємств [1, 4, 9], виділяють чотири групи

факторів: техніко-економічні; організаційно-управлінські; політико-правові; соціально-психологічні. На думку деяких вчених, наведена класифікація є не повною і потребує доповнення груп фінансово-кредитних факторів та професійної підготовки кадрів.

Проте вимоги сучасного світу, постійні кризові ситуації в країні вимагають від менеджерів та підприємців постійно «тримати руку на пульсі», мати достовірну та ефективну інформацію. Тому ми розділяємо думку науковців [10, 11], які вважають, що основною вимогою ефективного інноваційного розвитку підприємств є інформаційне забезпечення інноваційної діяльності. Проаналізувавши існуючі підходи до класифікації факторів впливу на інноваційний розвиток підприємств, врахувавши сучасні вимоги світової та вітчизняної економіки, а також особливості сільськогосподарського виробництва нами було запропоновано наступну класифікацію факторів впливу на інноваційну діяльність та розвиток сільськогосподарських підприємств (рис. 1). Таким чином аналіз рис. 1 показує, що на інноваційний розвиток сільськогосподарських підприємств впливає велика кількість різноманітних факторів, які відрізняються між собою походженням та сферами впливу.

Завданням для кожного суб'єкта підприємницької діяльності є максимальне підсилення дії факторів, які сприяють активізації його інноваційної діяльності та ефективності розвитку, а такою нівелювання впливу дестимулюючих факторів.

Складність аграрного виробництва, його особливості вимагає використання різноманітних методів і підходів управління інноваційним процесом щодо передбачає застосування різних типів інновацій, залучення інвесторів та посилення ролі держави в стимулюванні інновацій. Необхідно також відмітити, що аграрне виробництва характеризуються високим рівнем ризиків діяльності та інноваційних процесів. Основними з яких є [3, 5]: ризик фінансування інноваційних проектів; ризик низького попиту на інноваційну продукцію; ризик часового розриву між затратами на виробництво та виведення чи використання інноваційного продукту та економічного ефекту від його використання та/чи реалізації.

Оцінка та аналіз інноваційної діяльності вітчизняних підприємств аграрного сектору показали, що їх інноваційний процес має дуже низький рівень активності при високому науковому потенціалі. В основному інноваційні продукти використовуються на переробних підприємствах, птахофабриках та тепличних організацій.

Більшість підприємств використовують застарілу техніку, сорти сільськогосподарських культур та тварин, примітивні технології та методи. Таке управління є неефективним, собівартість продукції високою, а праця трудомісткою.



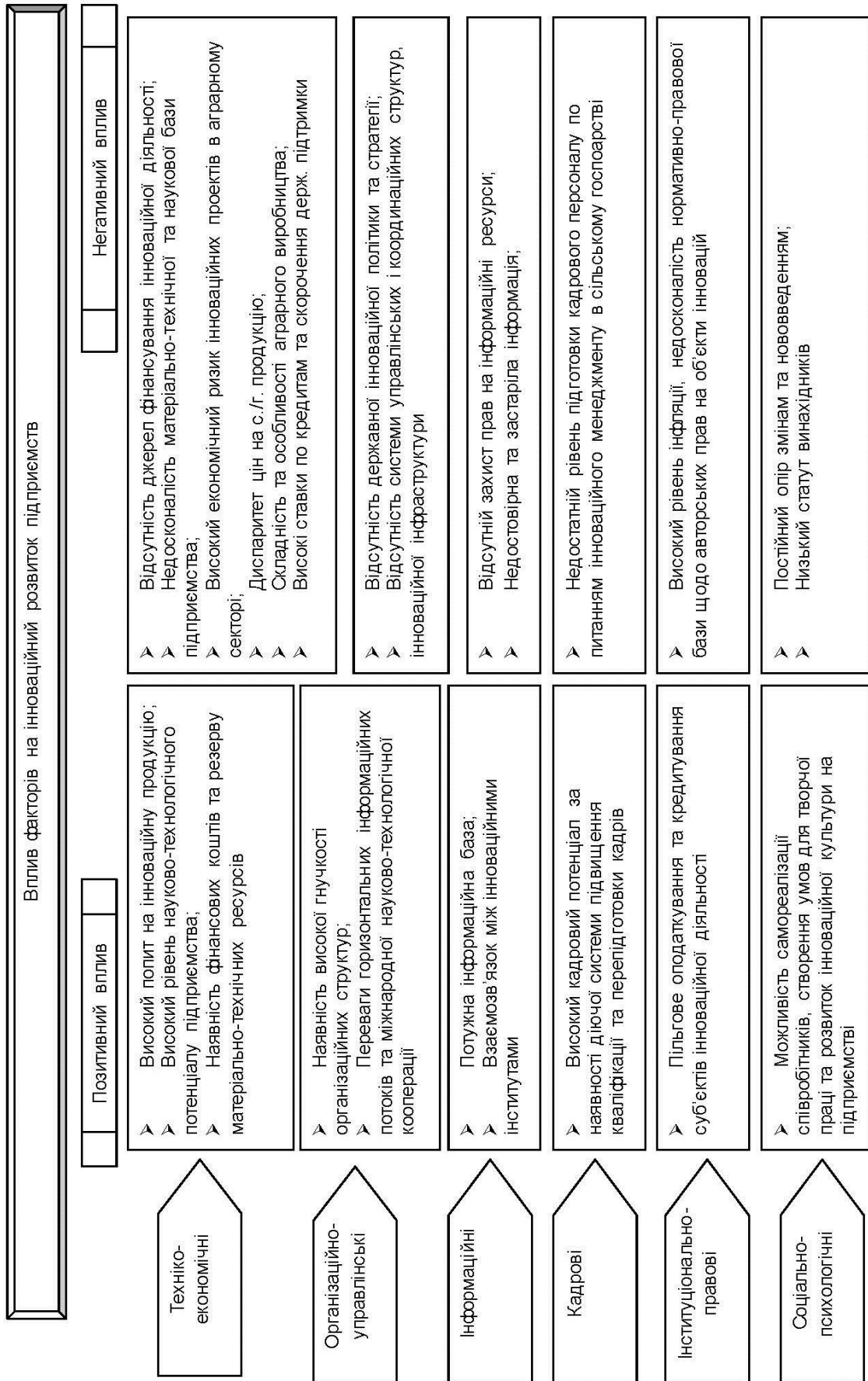


Рис. 1. Вплив факторів на агроінноваційний розвиток.

Все це пов'язано з важким фінансовим становищем сільськогосподарських підприємств, зниженням частини бюджетних джерел фінансування, завищеними кредитними ставками, відсутністю та недосконалістю державних інноваційних програм та політики. Відсутність фінансових засобів ставить перед власниками підприємств проблему вибору пріоритетів.

За останні декілька років частка збиткових підприємств постійно збільшується з 34,9 % у 2011 році до майже 50 % у 2015 році, а інші підприємства мають низький рівень рентабельності. Інноваційні продукти в своїй діяльності використовують не більше 10 % усіх агропромислових підприємств.

Проте вимоги сучасної економіки та економіка розвинутих країн світу вимагає виробництво екологічних видів продукції, енергоефективність, ресурсозбереження та застосування новітньої техніки. Основним фактором при аналізі ефективності діяльності підприємства, конкурентоспроможності та позиції на ринку є інноваційна активність. На сьогодні існує пряма залежність: чим вище показник інноваційної активності підприємства, тим воно є перспективнішим [8].

Для забезпечення умов розширеного відтворення виробництва та фінансову стійкість підприємств аграрного сектору необхідним є комплексний підхід та розробка механізму інноваційної діяльності та інноваційного розвитку таких підприємств (рис. 2).

Запропонований механізм інноваційної діяльності та розвитку аграрних підприємств передбачає використання комплексного підходу до інноваційного розвитку підприємства. Механізм інноваційної діяльності та розвитку складається з двох рівнів: макро- та мікрорівень. На макрорівні відбувається двохсторонній взаємозв'язок держави з науково-дослідними інститутами, економікою країни та споживачами. Особливістю є те, що замовниками можуть бути: держава, потреби споживачів та економіка (вимоги вітчизняної та міжнародної), а виконавцем лише наука (науково-дослідні інститути, винахідники та ін.). На мікрорівні – підприємство є основним суб'єктом, який використовує інноваційні продукти в своїй діяльності та реалізовує виготовлену інноваційну продукцію з метою підвищення ефективності своєї діяльності та фінансової стійкості. На цьому рівні підприємство, враховуючи свої потреби, потреби споживачів, вимоги сучасної економіки та держави (екологізація, біологізація та ін.) може використовувати існуючі інноваційні продукти, або бути замовником. Підприємство ретельно планує інновації, зважає усі внутрішні та зовнішні фактори впливу, прораховує ефективність використання таких інноваційних продуктів. Виявляє та страхує можливі ризики та приймає ефективні управлінські рішення. Таким чином, враховуючи диференціацію, складність та особливості аграрного виробництва

можна виділити наступні стратегічні напрями інноваційного розвитку сільськогосподарських підприємств:

- використання комплексного підходу (використання різноманітних методів і підходів управління інноваційним процесом, що передбачає застосування різних типів інновацій);
- вдосконалення нормативно-правового і методичного забезпечення інновацій та інноваційного розвитку;
- збільшення частки високотехнологічного експорту, участь у міжнародних інноваційних проектах та науково-технічній кооперації;
- зниження ставок по кредитах;
- покращення координації діяльності між державними установами, що регулюють інноваційну діяльність;
- розвиток державно-приватного партнерства в інноваційній сфері;

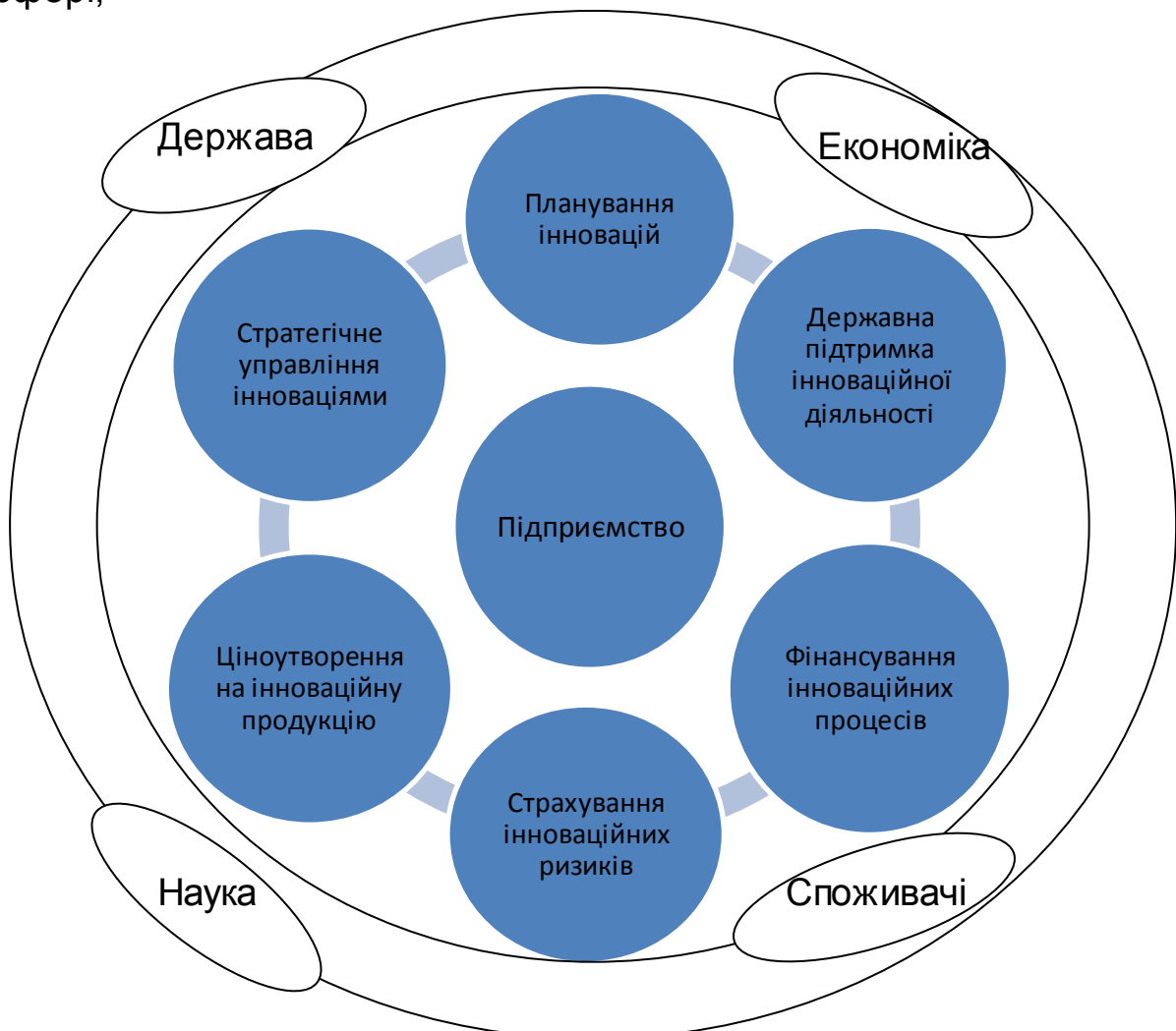


Рис. 2.

- залучення інвесторів;
- розвиток ринку інновацій, наукомістких товарів і послуг;

- створення нових виробництв, секторів економіки передових технологічних укладів, інтенсивне технологічне оновлення базових секторів економіки;
- підвищення якості і доступності освіти та підготовки наукових кадрів;
- стимулювання (прямими і непрямими методами) інноваційної активності підприємств;
- підтримка патентно-ліцензійної діяльності винахідників і підприємств;
- формування системи цільового фінансування пріоритетних напрямів науково-технічного розвитку;
- збільшення рівня фінансування інноваційної сфери для забезпечення досягнення стратегічних національних пріоритетів;
- формування інноваційних кластерів.

**Висновок.** Отже, оцінка ситуації в аграрній галузі показала низький рівень інноваційної активності підприємства та велику кількість існуючих проблем. Вирішення яких потребує врахування особливостей сільськогосподарського виробництва та факторів впливу на інноваційних процес розвитку, що передбачає використання комплексного підходу, підсиленого роллю держави в стимулюванні інновацій. Все це дозволить побудувати соціально-економічну систему, що дозволить створити додаткові робочі місця, збільшить кількість суспільного продукту та вплине на показники енергоефективності, ресурсозбереження та екологізації виробництва.

### Список літератури

1. *Антонюк Л. Л.* Інновації: теорія, механізм розробки та комерціалізації : монографія / *Л. Л. Антонюк, А. М. Поручник, В. С. Савчук.* – К.: КНЕУ, 2003. – 394 с.
2. *Вільямс В. Р.* Травопоільна система земледілля : собр. соч. / *В. Р. Вільямс.* – М.: Сельхозгиз, 1951. – Т. 7.
3. *Коюда В. О.* Інноваційна діяльність підприємства та оцінка її ефективності : монографія / *В. О. Коюда, Л. А. Лисенко.* – Х.: ФОП Павленко О. Г.; ВД "ІНЖЕК", 2010. – 224 с.
4. *Прахапад К. К.* Пространство бизнес-инноваций. Создание ценности совместно с потребителем / *К. К. Прахапад, М. С. Кришнан.* – М.: Альпина Паблишер, 2012. – 264 с.
5. *П'ятницька Г. І.* Інноваційні стратегії в сучасних умовах господарювання: суть та наукові підходи до формування вибору / *Г. І. П'ятницька* // Проблеми науки. – 2011. – № 11. – С. 21–29.
6. *Тимирязев К. А.* Земледелие и физиология растений / *К. А. Тимирязев* // Избранные лекции и речи. – М.: Сельхозгиз, 1957.
7. *Чабан В. Г.* Інновації як умова підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору / *В. Г. Чабан* // Економіка АПК. – 2006. – № 7. – С. 68–72
8. *Шевченко А. В.* Формування організаційно економічного механізму управління інноваційною діяльністю підприємств : монографія / *А. В. Шевченко.* – К.: НАУ, 2007. – 144 с.
9. *Шумпетер Й.* Теория экономического развития / *Й. Шумпетер.* – М.: ЭКСМО, 2007. – С. 864.

10. *Mariana Mazzucato*. The Entrepreneurial State: Debunking Public vs: «Anthem Press», 2013.
11. *Mass Flourishing: How Grassroots Innovation Created Jobs, C...* Edmund S. Phelps: «Princeton University Press», 2013.

*В статті проаналізовано стан інноваційної активності сільськогосподарських підприємств і виявлені існуючі проблеми. Систематизовані класифікаційні типи інвестицій. Виявлено ряд факторів впливу на інноваційне розвиток сільськогосподарських підприємств. Представлено механізм агроінноваційного розвитку підприємств сільського господарства.*

**Сільськогосподарські підприємства, інновації, інноваційна активність, механізм агроінноваційного розвитку.**

*The paper analyzes the state of innovation activity agricultural enterprises and revealed the existing problems. Systematized classification types of investments. Revealed a number of factors influence the development of innovative agricultural enterprises. The mechanism ahroinnovation development of agricultural enterprises.*

**Agriculture, innovation, innovative activity, mechanism ahroinnovation development.**

УДК 631.173:339.13

## **ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ОСНОВНОГО КАПІТАЛУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**О. В. Захарчук, доктор економічних наук  
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»**

*Проаналізовано сучасний стан і перспективи розвитку матеріально-технічного забезпечення в Україні. На основі дослідження проблем із постачанням – основних засобів для сільськогосподарського виробництва, особливо їх активної складової, розроблено науково – обґрунтовані пропозиції щодо поліпшення матеріально-технічного забезпечення сільськогосподарських підприємств. Обґрунтовано необхідність розвитку фінансового лізингу як найбільш ефективного заходу державної підтримки сільськогосподарських товаровиробників і заводів сільськогосподарського машинобудування. Дослідження особистих селянських господарств*

© О. В. Захарчук, 2015

*показало, що вони функціонують в умовах слаборозвиненої матеріально-технічної бази, особливо не вистачає техніки, яка б відповідала їхнім розмірам, – міні-тракторів та відповідного шлейфа машин.*

**Основні засоби, індексація, матеріально-технічне забезпечення, нормативна потреба, фінансовий лізинг, амортизація, сільськогосподарське машинобудування.**

**Постановка проблеми.** Як свідчить світова практика, у більшості країн проводиться обґрунтована політика державного регулювання аграрного виробництва та державної підтримки сільськогосподарських виробників. Виваженість, обґрунтованість та ефективність державної регуляторної політики залежить від достовірності й масштабності інформаційної бази фінансово-економічних показників про стан сільськогосподарської галузі, впливу соціально-економічних явищ і трансформаційних змін, що відбуваються в країні.

Важливим економічним елементом, що визначає показники результативності аграрного виробництва, являються основні засоби, в тому числі їх вартісні параметри. Вартість основних засобів у частині амортизаційних відрахувань є складовою собівартості сільськогосподарської продукції, яка позначається на значеннях фінансових результатів і рентабельності аграрного виробництва.

**Аналіз останніх досліджень.** Значний внесок у інноваційний розвиток ринку матеріально-технічних ресурсів, організації методологічних та методичних засад розширеного відтворення основних і оборотних засобів, що має важливе значення для забезпечення ефективності вкладення капіталу, зробили такі вчені, як Г. М. Підлісецький [3, 5, 6, 8], М. І. Герун [3], Я. К. Білоусько [7], В. Л. Товстопят [5], М. М. Могилова [8], С. Г. Мітін [4], В. О. Галушко [7] та багато інших.

**Мета досліджень** – розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо поліпшення матеріально-технічного забезпечення інноваційного розвитку сільськогосподарських підприємств.

**Результати досліджень.** До основних механізмів державного регулювання ринкової економіки відноситься бюджетно-податкова політика. З 1999 року в Україні з метою стимулювання розвитку вітчизняного аграрного виробництва для сільськогосподарських виробників було встановлено пільговий режим оподаткування. Але останнім часом фінансистами країни порушується питання про відміну податкових пільг для сільськогосподарських виробників. Одним із основних аргументів на користь цього називається відносно високий рівень рентабельності сільськогосподарського виробництва. У 2007-2013 роках по економіці країни цей рівень становив в межах 3,3-6,8 %, тоді як рентабельність виробництва сільськогосподарської продукції – 11,2-27,0 %. (табл. 1).

**1. Рівень рентабельності різних видів економічної діяльності в Україні за даними статистичної звітності, %.**

Вид діяльності	Рік						
	2000	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Операційна діяльність:							
- національна економіка	2,7	3,9	3,3	4,0	5,9	5,0	3,9
- сільське господарство, лісове господарство, рибництво (до 2010 року мисливство)	-1,6	12,9	14,7	22,9	23,2	21,7	11,8
- сільське господарство				24,5	24,7	22,8	12,2
Виробництво сільськогосподарської продукції в сільськогосподарських підприємствах:							
усього	-1,0	13,4	13,8	21,1	27,0	20,5	11,2
рослинництво	30,8	19,6	16,9	26,7	32,3	22,3	11,1
тваринництво	-33,8	0,1	5,5	7,8	13,0	14,3	11,3

Джерело: стат. збірники «Статистичний щорічник України» та «Сільське господарство України».

Разом з тим, більш глибокі дослідження свідчать про ілюзорність такої прибутковості в сільському господарстві. Причина цьому – невідповідність реально спожитого основного капіталу нарахованим амортизаційним відрахуванням, які б мали забезпечувати його відтворення. В свою чергу, занижені розміри амортизаційних відрахувань аналогічно позначаються на собівартості продукції, що призводить до штучного завищення фінансових результатів і рентабельності сільськогосподарської діяльності.

Невідповідність амортизаційних відрахувань витратам основного аграрного капіталу і потребам його відтворення обумовлена відсутністю дієвої практики переоцінки сільськогосподарських основних засобів, тоді як суб'єктами економічної діяльності інших галузей проводиться переоцінка свого майна. Так, за 2005-2013 роки основні засоби національної економіки були дооцінені в 5,25 разів, тоді як в сільському господарстві – лише на 24 %. Питання переоцінки сільськогосподарського майна актуалізується в умовах зростаючої інфляції сьогодення. Дослідженнями шляхом аналізу статистичних показників переоцінки галузевих основних засобів (табл. 2) та шляхом опитування бухгалтерів сільськогосподарських підприємств встановлено пріоритетність дотримання на практиці податкової схеми переоцінки.

Така ситуація є парадоксальною, оскільки ця схема не поширюється на платників фіксованого сільськогосподарського податку (з 2015 року – єдиного податку), і є нормою лише для платників податку на прибуток. Застосування сільськогосподарськими підприємствами податкового підходу до переоцінки основних засобів пояснюється наступним: звичка обліковувати за чітко регламентованими

правилами; невпевненість у стабільності «правил гри»; відсутність необхідності чіткого обліку в силу сплати фіксованого (з 2015 року – єдиного) сільськогосподарського податку.

## **2. Переоцінка основних засобів сільського господарства та національної економіки України за період 2005-2013 роки, індекси.**

Фактичний рівень переоцінки основних засобів		Рівень переоцінки відповідно до норм податкового законодавства	Рівень інфляції
національної економіки	сільського господарства, мисливства та лісового господарства		
5,25	1,24	1,28	2,26

Джерело: розраховано за даними стат. збірника «Основні засоби України».

Застосування в практиці переоцінки податкового підходу, запровадженого у 1997 році, позначилось на рівні недооцінки основних засобів сільського господарства: з 1997 по 2013 роки трактори та сільськогосподарські машини здорожчали в 5,6 рази, будівельно-монтажні роботи – в 11,5 рази, автотранспортні засоби – в 3 рази, тоді як за податковими нормами дооцінити основні засоби можна було лише на 78 %. (табл. 3).

## **3. Порівняння зростання цін на основні види основних засобів сільського господарства та рівня їх переоцінки відповідно до податкової схеми, на кінець року.**

Рік	Накопичений з 1997 року індекс				переоцінки основних засобів за податковою схемою
	зростання цін на матеріально-технічні ресурси, що споживаються в сільському господарстві				
	трактори та сільськогосподарські машини	автомобілі	будівельно-монтажні роботи	будівельні матеріали	
2009	4,21	2,75	7,39	6,02	1,778
2010	4,62	2,82	8,67	6,40	1,778
2011	5,32	2,93	10,23	7,31	1,778
2012	5,47	2,97	11,08	7,91	1,778
2013	5,56	3,02	11,53	7,97	1,778

Джерело: розраховано за даними стат. зб. «Сільське господарство України».

Необ'єктивність мікроекономічних показників, і, як наслідок, інформаційної бази макроекономічного характеру обумовлюють недостатню обґрунтованість державної регуляторної політики в частині розвитку сільського господарства. Внаслідок цього:

- приймаються (можуть прийматися) необ'єктивні рішення щодо державного регулювання сільського господарства та системи його оподаткування;



- занижується фактична капіталізація сільськогосподарських підприємств, що обмежує, зокрема, їх можливості залучення кредитних ресурсів.

Проведені дослідження дали можливість обґрунтувати орієнтовні коефіцієнти можливої індексації балансової вартості основних засобів сільського господарства, диференційовані за видами основних засобів, строками зарахування їх на баланс та за датами фактичної переоцінки відповідно до справедливої (ринкової) вартості (табл. 4).

**4. Орієнтовні коефіцієнти разової індексації балансової вартості основних засобів сільського господарства на 1.01.2015 року\*.**

Рік зарахування основних засобів на баланс, які в подальшому не переоцінювались за справедливою вартістю, або рік переоцінки за справедливою вартістю раніше введених основних засобів	Коефіцієнти разової індексації			
	для будівель та споруд	для машин та обладнання	для транспортних засобів	для інших основних засобів
до і 1997	6,495	3,400	1,845	3,913
1998	6,502	2,996	1,766	3,754
1999	6,532	2,696	1,734	3,654
2000	6,081	2,512	1,866	3,486
2001	5,998	2,491	1,706	3,398
2002	5,384	2,483	1,608	3,159
2003	5,089	2,488	1,720	3,099
2004	4,690	2,557	1,608	2,952
2005	3,454	2,206	1,371	2,344
2006	2,586	1,990	1,527	2,034
2007	2,350	1,823	1,515	1,896
2008	1,986	1,730	1,475	1,731
2009	1,716	1,522	1,338	1,525
2010	1,562	1,435	1,191	1,396
2011	1,331	1,309	1,161	1,267
2012	1,128	1,135	1,119	1,127
2013	1,042	1,106	1,104	1,084
2014	1,002	1,087	1,087	1,059

\* – попередні дані, потребують уточнення.

Джерело: розраховано за даними статистичних збірників «Сільське господарство України».

Наслідком недооцінки галузевих основних засобів є знівельовані абсолютні та відносні фінансово-економічні показники сільськогосподарської діяльності, зокрема амортизаційні відрахування, собівартість, фінансовий результат та рентабельність.

Уточнений розрахунок основних економічних показників розвитку сільського господарства з врахуванням проведення разової індексації основних засобів у 2012-2013 рр. показав, що вони були суттєво завищені (табл. 5).

**5. Розрахунок економічних показників розвитку сільського господарства з врахуванням проведення разової індексації основних засобів у 2012-2013 рр.**

№ з/п	Показник	Рік	
		2012	2013
1.	Повна собівартість реалізованої продукції с/г, млрд. грн.	98,7	105,6
2.	Виручка від реалізації, млрд. грн.	118,9	117,4
3.	Прибуток, млрд. грн.	20,2	11,8
4.	Рівень рентабельності, %	20,5	11,2
5.	Розмір амортизаційних відрахувань, %	5,3	5,5
6.	Сума амортизаційних відрахувань (фактична), млрд. грн.	6,5	7,0
7.	Сума амортизаційних відрахувань після проведення разової індексації, млрд. грн.	12,1	14,9
8.	Різниця між індексованими та фактичними амортизаційними відрахуваннями, млрд. грн.	5,6	7,9
9.	Повна собівартість (уточнена), млрд. грн.	104,3	113,5
10.	Прибуток (уточнений), млрд. грн.	14,6	3,9
11.	Рівень рентабельності з врахуванням вартості проіндексованих основних засобів, %	14,0	3,4

У 2012 році при рівні рентабельності виробництва сільськогосподарської продукції в 20,5 % відповідно даних офіційної статистичної звітності (форма № 50-сг), розрахунковий показник з урахуванням дооцінки основних засобів склав 14,0 %, і це навіть без коригування фінансових показників галузі після приведення заробітної плати по сільському господарству до середньої заробітної плати по національній економіці. При здійсненні розрахунку амортизаційних відрахувань на індексовану вартість основних засобів, їх відображенні у собівартості реалізованої продукції сільськогосподарськими підприємствами уточнений прибуток у 2013 році складе 3,9 млрд, що на 11,0 млрд грн менше за показник офіційної статистичної інформації (форма 50-сг), а уточнений рівень рентабельності відповідно зменшиться на 7,8 % і дорівнюватиме 3,4 %.

Подібне співвідношення складалось і в попередні роки щодо штучного завищення результативності сільськогосподарської діяльності. При цьому рівень переоцінки (індексації) основних засобів інших галузей національної економіки в рази перевищує цей показник в аграрному секторі, відповідно впливаючи на «відносне» заниження рентабельності операційної діяльності підприємств інших сфер («відносне» щодо показників сільського господарства).

**Висновок.** З метою обґрунтування державної аграрної політики необхідна відповідна об'єктивна інформація, в тому числі щодо стану та вартості основних засобів. Для цього необхідно: удосконалити нормативно-правове та методичне забезпечення переоцінки (в тому числі разової індексації) балансової вартості основних засобів сільськогосподарських підприємств; провести переоцінку галузевих основних засобів шляхом разової індексації їх балансової вартості.

### Список літератури

1. Закон України „Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу” від 07.02.2002 р. № 3023 // електр. ресурс://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/3023-14.
2. Закон України „Про систему інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу України” від 05.10.2001 р. № 2658 // електр. ресурс://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/229-16.
3. *Методичні рекомендації з обґрунтування нормативної потреби основних засобів на виробництво сільськогосподарської продукції* / Г. М. Підлісецький, М. І. Герун, О. В. Вишневецька. – К.: ННЦ ІАЕ, 2013. – 52 с.
4. Митин С. Г. Состояние и перспективы развития отрасли сельхозмашиностроения / С.Г. Митин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 6. – С. 2–6.
5. Підлісецький Г. М. Матеріально-технічна база аграрного виробництва: стан та проблеми відтворення / Г. М. Підлісецький, В. Л. Товстопят, А. В. Бурилко // Агроінком. – 2008. – № 5-6. – С. 34–39.
6. Підлісецький Г. М. та ін. Формування ринків матеріальних ресурсів АПК / за ред. Г. М. Підлісецького. – К.: ІАЕ УААН, 2001. – 428 с.
7. *Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі* / [Я. К. Білоусько, В. О. Бурилко, В. О. Галушко та ін.] ; за ред. Я. К. Білоруська. – К.: ННЦ ІАЕ, 2007. – 216 с.
8. Підлісецький Г. М. Удосконалення переоцінки основних засобів аграрного сектору в системі їх відтворення / Г. М. Підлісецький, М. М. Могилова // Економіка АПК. – 2010. – № 12. – С. 41–47.
9. Кузьмидер Г. Ocena efektywnosci dzialalnosciprodukcyjnej po dokonaniu inwestycji rolnizych (na przykladzie RZD SYW w Puczniewie). Ekon. org. roln / Warszawa, 1974, 17, д. 23–106.
10. *Modern Machines In Agriculture* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.befarmex.com/files/292\\_Chapter%20N.2%20MODERN%20MACHINES%20IN%20AGRICULTURE%20-%20SPAIN.pdf](http://www.befarmex.com/files/292_Chapter%20N.2%20MODERN%20MACHINES%20IN%20AGRICULTURE%20-%20SPAIN.pdf).
11. Markham, Brett L. Mini farming : self sufficiency on ¼ acre / Brett L. Markham. – China, 2010. – 227 p.
12. Pryor F. L. Market economic systems / F. L. Pryor // Journal of Comparative Economics. – Vol. 33. – 2005. – P. 25–46.
13. Salter, W.E.G. Productivity and Technical Change. Cambridge University Press, Cambridge.

*Проанализировано современное состояние и перспективы развития материально-технического обеспечения в Украине. На основе исследования проблем со снабжением – основных средств для сельскохозяйственного производства, особенно их активной составляющей, разработаны научно-обоснованные предложения*

*относительно улучшения материально-технического обеспечения сельскохозяйственных предприятий. Обоснована необходимость развития финансового лизинга как наиболее эффективного мероприятия государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей и заводов сельскохозяйственного машиностроения. Исследование личных крестьянских хозяйств показало, что они функционируют в условиях слаборазвитой материально-технической базы, особенно не хватает техники, которая бы отвечала их размерам, – мини-тракторов и соответствующего шлейфа машин.*

**Основные средства, индексация, материально-техническое обеспечение, нормативная потребность, финансовый лизинг, амортизация, сельскохозяйственное машиностроение.**

*In paper the analysis of the modern state and prospect of development of logistical support is reflected in Ukraine. On the basis of research of problems in providing the fixed assets for an agricultural production, especially them active constituent, scientifically and reasonable suggestions are worked out in relation to the improvement of logistical support of development of agricultural enterprises. The necessity of development of the financial leasing as most effective measure of state support of agricultural commodity producers and plants is reasonable agricultural engineer. Research of the personal peasant economies showed that they functioned in the conditions of the enough poorly developed material and technical base, a technique that would answer their sizes – tractors and corresponding loop of machines is not especially enough.*

**Fixed assets, indexation, logistical support, normative necessity, financial leasing, depreciation, agricultural engineer.**

УДК 658.589

## **МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ТА АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ ПІДПРИЄМСТВ**

**П. А. Стецюк, доктор економічних наук  
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»**

*В статті проаналізовано наукові та прикладні аспекти використання сучасних методів економічної оцінки та аналізу інноваційно-інвестиційних проектів у процесі управління інноваційною*

© П. А. Стецюк, 2015

*діяльністю підприємств та обґрунтовано авторській підхід до вирішення окремих дискусійних питань в площині їх практичного застосування.*

***Інновації, інвестиції, проекти, підприємства, дисконт овані грошові потоки, чиста теперішня вартість, внутрішня норма доходності.***

**Постановка проблеми.** Однією з найбільш важливих вимог щодо забезпечення поступального економічного розвитку підприємств різних галузей економіки є забезпечення прийняттого рівня кількісних та якісних параметрів їх матеріально-технічної бази. Крім того, в умовах динамічного ринкового середовища значно підвищились вимоги до забезпечення конкурентоспроможності, основою якої є високий рівень технологічного та ресурсного забезпечення суб'єктів господарювання. Ці та інші чинники вимагають активізації їх інноваційно-інвестиційної діяльності. Важливе значення у контексті вирішення такого завдання має адекватна система методів і процедур прийняття й реалізації управлінських рішень щодо здійснення інноваційних проектів технологічного переозброєння та розвитку матеріальних активів підприємств.

**Аналіз останніх досліджень.** Опрацьовування спеціальної наукової літератури та узагальнення найбільш суттєвих результатів свідчать, що питання аналізу інвестиційних, у тому числі інноваційних проектів знаходяться в центрі постійної уваги багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Істотний вклад у вирішення питань цієї предметної сфери неокласичної економічної теорії внесли вітчизняні науковці І. Бланк, В. Геєць, М. Герасимчук, А. Гойко, А. Пересада, П. Саблук, В. Савчук. Серед зарубіжних авторів слід відмітити наукові результати, що містяться у працях Г. Бірмана, Є. Брігхема, М. Бромовича, Б. Класса, Л. Крушвица, В. Шарпа, С. Шмідта.

Нині питання оцінки та аналізу інноваційних проектів має ґрунтовну теоретико-методологічну та методичну базу. Однак залишається чимало дискусійних питань, які потребують подальших досліджень. Серед них варто виділити розмаїття інтерпретацій економічного змісту окремих показників (критеріїв) оцінки доцільності та ефективності інвестування інновацій, неоднозначність використання методичного інструментарію їх розрахунку, відсутність однозначності щодо прийнятності та доцільності використання існуючих моделей і методів оцінки в практиці управління інноваційною діяльністю вітчизняних підприємств.

**Мета досліджень:** аналіз проблемних теоретичних та практичних аспектів застосування сучасних методів аналізу реальних інвестицій в управлінні інвестиційною діяльністю для обґрунтування напрямів їх вирішення.

**Результати досліджень.** Постійне здійснення інноваційної діяльності є необхідним атрибутом конкурентоспроможного підприємства, що динамічно розвивається. Забезпечення такої динаміки вимагає розробки й впровадження методів та процедур оцінки доцільності та ефективності здійснення інноваційно-інвестиційних проектів. Крім того, вони мають актуальне практичне значення для реалізації таких управлінських функцій як моніторинг, контроль та регулювання інноваційного процесу на всіх фазах життєвого циклу здійснюваних підприємством проектів.

Ми виходимо з розуміння того, що інноваційна діяльність є домінантною складовою інвестиційної діяльності підприємства і здійснюється переважно у вигляді реалізації конкретних інвестиційних проектів. Навіть якщо формально не оформлений у вигляді техніко-економічного обґрунтування чи бізнес-плану його аналітично-прогнозні параметри завжди вписуються в теоретичну модель інвестиційного проекту.

Ресурсне забезпечення інноваційної діяльності вимагає залучення значних обсягів фінансових ресурсів, отримання яких в ринкових умовах відбувається на основі платності. Капіталізація фінансових ресурсів в процесі інвестування в інноваційні проекти пов'язана із вилученням їх на певний час з господарського обороту, трансформацією активів підприємства з більш ліквідної у менш ліквідну форму, що веде до втрати споживчих якостей капіталу, накопиченого на попередніх етапах діяльності підприємства. Це суттєво впливає як на фінансовий стан підприємства та на можливі наслідки реалізації прийнятих управлінських рішень. Враховуючи значний часовий період процесу інвестування та експлуатації створених в результаті цього активів, об'єктивний характер в такій ситуації має чинник невизначеності. Тому управління інноваційним процесом підприємства є досить складною та відповідальною сферою його загального та функціонального менеджменту.

Визначальним в аналізі інноваційних проектів є вибір як системи показників, так і окремих вимірників з їх складу. Нині певною мірою конкурують два підходи і відповідні їм методики: 1) абсолютної і порівняльної ефективності капітальних вкладень, що використовувалися в практиці управління централізованою радянською економікою; 2) статичні (прості) та динамічні (фінансові) методи, обґрунтовані західною фінансовою наукою і використовувані багатьма зарубіжними підприємствами. Основні показники та їх якісні характеристики наведені в табл. 1.

При цьому варто відмітити, що між показниками першого підходу і статичними методами другого існує певна методична подібність.

**1. Порівняльні характеристики окремих методів оцінки ефективності інновацій [2].**

Характеристики	Перша група		Друга група				
	норма прибутку на інвестований капітал	термін окупності	термін окупності за дисконтованим грошовим потоком (PPD)	чиста теперішня вартість (NPV)	внутрішня норма доходності (IRR)	модифікована внутрішня норма доходності (MIRR)	індекс рентабельності (PI)
Відношення до оцінки фінансированих ресурсів	Опосередковане через прибуток	Не має	Опосередковане через прирістний чистий грошовий потік	Безпосереднє	Безпосереднє – оцінює граничну ціну джерел	Безпосереднє – оцінює граничну ціну джерел	Безпосереднє
Характер оцінки	Відносний	Абсолютний	Абсолютний	Абсолютний	Відносний	Відносний	Відносний
Вид ефекту	Доходність	Час	Час	Прирістний чистий грошовий потік	Ціна джерел фінансових ресурсів	Ціна джерел фінансових ресурсів	Прирістний чистий грошовий потік
Період, за який враховується ефект	Середньорічне значення	До моменту повного відшкодування інвестиційних витрат	До моменту повного відшкодування інвестиційних витрат	Весь життєвий цикл	Весь життєвий цикл	Весь життєвий цикл	Весь життєвий цикл
Врахування ціни джерел фінансових ресурсів	Не враховує	Не враховує	Враховує	Враховує	Виступає еталоном для порівняння	Враховує, виступає еталоном для порівняння	Враховує
Врахування ризиків	Не враховує	Не враховує	Враховує	Враховує	Враховує	Враховує	Враховує
Врахування інфляції	Не враховує	Не враховує	Враховує	Враховує	Враховує	Враховує	Враховує

Окремі автори вважають, що переваги першої методики у доступності та вірогідності вихідних даних, простоті розрахунків, відсутності потреби у прогнозуванні поточних витрат, цін, прибутку, строку дії проекту, можливості визначення абсолютної ефективності загальної суми інвестицій якого-небудь окремо взятого інвестиційного проекту, можливості оцінки порівняльної ефективності будь-якої кількості альтернативних проектів і вибору з них найбільш ефективного [1]. Таке твердження вважаємо спірним.

Конкуруючі методи мають інструменти для визначення і абсолютної, і порівняльної ефективності. А використання методів першої групи не виключає прогнозування поточних витрат (собівартості), ціни та прибутку. Фактично тих самих елементів, які включаються до аналізу і прогнозування грошових потоків.

В багатьох наукових розвідках вказується на те, що суттєвим недоліком методів оцінки капітальних вкладень є неврахування зміни вартості грошей з часом, а по суті – витрат на залучення фінансових ресурсів. Досить поширеною у науковій літературі є думка стверджується, що методам оцінки ефективності за дисконтованими грошовими потоками немає альтернативи, а в якості кращого серед них називають метод чистої теперішньої вартості (*NPV*). В практиці управління навпаки – перевагу віддають методу внутрішньої норми доходності (*IRR*) в тричі більше підприємств, ніж методу *NPV* [3, с.327]. Іншим методам аналізу інвестицій, на думку авторів академічних підручників, не варто приділяти уваги. На користі цієї рекомендації приводиться така аргументація: «різні методи розрахунку коефіцієнтів окупності час від часу використовуються при оцінці проектів, але всі ці методи мають серйозні недоліки, тому ми їх не розглядали» [3, с. 315]. Подібну частоту використання показників оцінки інвестицій можна зустріти й в інших публікаціях [4, с.132].

Цікаво відмітити те, що інформація, яка носить альтернативний характер і спростовує попередні твердження, не помічається вітчизняними дослідниками. Відомий фахівець з управління фінансовою діяльністю підприємств Альфред М. Кінг свідчить: «опитування, проведені в 70-х та 80-х і навіть в 90-х роках, показали, що більшість комерційних організацій продовжують використовувати в даний час *дискредитований* (підкреслено нами – ПС) простий метод окупності» [5, с. 343-347].

На недосконалість методів оцінки інвестицій, що базуються на дисконтованих грошових потоках, вказує відомий американський теоретик з стратегічного управління Ігор Ансофф. Він віддає перевагу нормі віддачі від інвестицій на тій підставі, що вона є « 1)...загальним і широко використовуваним засобом виміру ефективності бізнесу; 2) на відміну від інших показників дозволяє обійти поки ще невірні-



шену проблему визначення факторів, які впливають на норму дисконту для використання капіталу в майбутньому; 3) норма віддачі від інвестицій є зручним засобом для порівняння проектів в різних сферах бізнесу» [6].

Якісні характеристики показників, наведені в табл. 1, дають підґрунтя для загальних рекомендацій стосовно вибору окремих з них для аналізу інноваційно-інвестиційних проектів. Якщо його завданням є визначення їх загальної ефективності, то з цією метою краще використовувати метод *NPV*. Для оцінки прийнятності різних варіантів структури джерел фінансування проекту більш прийнятним є метод *IRR*. При порівнянні проектів або їх варіантів на вибір показників суттєво впливає адекватність обсягів використовуваних фінансових ресурсів на їх фінансування. Коли вони між собою суттєво не відрізняються, то варто застосовувати метод *NPV*, в іншому випадку – *PI*.

Загальною інформаційною основою показників, що використовують дисконтовані чисті грошові потоки є: а) довжина життєвого циклу проекту; б) величина чистого грошового потоку по окремих часових періодах використання фінансових ресурсів; в) норма дисконту, тобто середньозважена ціна джерел фінансових ресурсів за окремими напрямками їх використання.

Апріорі вважається, що тривалість життєвого циклу активів, які є об'єктом інноваційної діяльності, відома. Така однозначність можлива лише у випадку коли метою цих інновацій виступає створення чи придбання окремого активу. У разі спрямування інвестицій на створення кількох активів, встановлення довжини життєвого циклу має певні складнощі. Ми вважаємо за доцільне врахування всього життєвого циклу оцінюваного інвестиційного проекту.

Найбільш складним елементом прогнозно-аналітичних розрахунків є грошові потоки. У переважній більшості наукових публікаціях з цього питання методика їх прогнозування подається спрощено без розкриття її специфіки. Як правило, методичною основою таких розрахунків є бухгалтерській підхід до калькулювання собівартості чи до складання звіту про рух грошових коштів. Така методика не повною мірою відповідає вимогам аналізу інновацій. Зокрема, ігнорується те, що «запропонований економістами метод фінансового планування показує майбутні вхідні та вихідні потоки грошових коштів унаслідок [прийняття] рішення, при чому акцент робиться на приріст параметрів або диференціальні ефекти рішення» [7, с. 44] Іншими словами, в процесі планування грошових потоків необхідно врахувати всі зміни витрат і доходів, пов'язані з реалізацією проекту. Неврахування цієї методичної вимоги призводить до істотної помилки, яка ставить під сумнів коректність і навіть правильність висновків про прийнятність аналізованого напрямку використання фінансових ресурсів.

Якщо не брати до уваги прирістний потік, то можливі два типи помилок. *Перша*. В процесі планування вся сума непрямих (опосередкованих) витрат буде розподілятися, у тому числі й на продукцію проекту, методами, прийнятими в практиці бухгалтерського обліку. При цьому ігнорується той факт, що більша частина таких витрат має місце незалежно від того, здійснює підприємство проект чи відмовляється від нього. Тому в планових розрахунках до складу елементів грошового потоку можуть включатися лише конкретний приріст витрат, зумовлений реалізацією проекту. *Друга*. Проекти, які мають негативні грошові потоки взагалі випадають із сфери застосування методів оцінки на основі дисконтованих чистих грошових потоків. В науковому плані визначення норми дисконту не представляє складнощів – в якості бази для її визначення виступає модель альтернативної вартості. Наша позиція з цього питання зводиться до використання в цьому контексті кумулятивного методу. Разом з тим, існує необхідність зробити певні уточнення.

Урахування інфляції за допомогою відомої формули Фішера, яка встановлює взаємозв'язок між реальною та номінальною вартістю грошей прийнятне у випадку однорідної інфляції. В умовах же так званої структурної інфляції, яка характерна для трансформаційних економік, цей підхід призводить до суттєвих похибок та підстав для ухвалення неадекватних фінансових рішень. Ми вважаємо, що кращим вирішенням питання врахування інфляції є коригування вартісної оцінки елементів грошових потоків на прогнозовані індивідуальні темпи їх змін. Урахування ризиків хоч і має достатній методологічний та методичний апарат, однак у вітчизняній практиці його застосування має певні складнощі. Тому для цих цілей варто використати експертний метод.

**Висновок.** Перехід на нові умови господарювання вимагає використання адекватних їм методів оцінки доцільності та ефективності інноваційних проектів. Рекомендовані у спеціальній літературі методи мають свої позитивні та негативні сторони. Методи оцінки за дисконтованим грошовим потоком мають значно більшу інформативність. В процесі розрахунку отримується інформація для визначення необхідних обсягів фінансування проекту та гранично прийнятну вартість фінансових ресурсів. При виборі системи методів та критеріїв оцінки необхідно виходити з логіки економічного прагматизму - більш складні методи варто застосовувати у тому випадку, коли вони забезпечують реальні економічні вигоди.

### Список літератури

1. *Бень Т.* До визначення економічної ефективності інвестицій / *Т. Бень* // Економіка України. – 2007. – № 4. – С. 12–19.
2. *Стецюк П. А.* Дискусійні питання методології інвестиційного аналізу / *П. А. Стецюк* // АгронКом. – 2006. – №2. – С. 59–63.

3. Бригхем Юджин Ф. Энциклопедия финансового менеджмента / Бригхем Юджин Ф. – М.: РАГС; ОАО "Изд-во "Экономика", 1998. – 817 с.
4. Гойко А. Ф. Методи оцінки ефективності інвестицій та пріоритетні напрями їх реалізації / А. Ф. Гойко. – К.: ВІРА-Р, 1999. – 320 с.
5. Альфред М. Кинг. Тотальное управление деньгами / Пер. с англ. / Альфред М. Кинг. – СПб.: Полигон, 1999. – 448 с.
6. Ансофф И. Стратегическое управление / И. Ансофф. – М.: Экономика, 1989. – 519 с.
7. Бромович М. Анализ экономической эффективности капиталовложений / М. Бромович. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 432 с.

*В статье проанализированы научные и прикладные аспекты использования современных методов экономической оценки и анализа инновационно-инвестиционных проектов в процессе управления инновационной деятельностью предприятий и обоснованно авторской подход к решению отдельных дискуссионных вопросов в плоскости их практического приложения.*

***Инновации, инвестиции, проекты, предприятия, дисконтированные денежные потоки, чистая теперешняя стоимость, внутренняя норма доходности.***

*In paper the scientific and applied aspects of the use of modern methods of economic evaluation and analysis of innovative-investment projects are analyses in the process of management by innovative activity of enterprises and reasonably authorial going near the decision of separate debatable questions implant their practical application.*

***Innovations, investments, projects, enterprises, discounted cash flows, net present value, internal rate of return.***

УДК 621.923

## **РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕФОРМАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ВІБРООБРОБЦІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

***Т. С. Скобло, доктор технічних наук  
А. О. Науменко, кандидат технічних наук  
В. М. Власовець, доктор технічних наук  
Є. Л. Бєлкін, магістр***

***Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка***

© Т. С. Скобло, А. О. Науменко, В. М. Власовець, Є. Л. Бєлкін, 2015

*Розроблена математична модель деформаційних навантажень при віброобробці робочих органів сільськогосподарської техніки, що враховує перехід частини енергії в пластичну і пружно-пластичну деформації, дозволила проаналізувати вплив параметрів обробки та встановити, що частота навантаження практично не впливає на зміни в робочому шарі, натомість амплітуда і час мають істотний вплив на процеси зміцнення.*

**Диск копача, віброобробка робочих органів, математична модель, деформаційні навантаження.**

**Постановка проблеми.** Однією з найбільш важливих проблем у розвитку сільськогосподарського машинобудування є підвищення ефективності використання сільськогосподарських знарядь на різних типах ґрунтів, зокрема дисків копачів [1]. На початку їх експлуатації при контакті з ґрунтом відбувається підвищений знос робочої поверхні [2]. У подальшому такий контакт сприяє формуванню зміцненого шару [3], але в період припрацювання ефективним є використання технологій зміцнення, зокрема – віброобробки [4].

Такий метод широко застосовується для локального зміцнення відповідальних деталей, однак низка питань, присвячених визначенню оптимальних режимів обробки на підставі аналізу теоретичних моделей процесу вивчені недостатньо. Існуючі моделі відносяться переважно до деформаційної обробки та не враховують особливості впливу вібрації інструменту.

**Мета досліджень** – розробка математичної моделі деформаційних навантажень при віброобробці робочих органів сільськогосподарської техніки

**Матеріал і методика досліджень.** Для зміцнення застосовували вібраційну обробку на спеціально виготовленому стенді з частотою деформації 10-35 Гц (700-2000 циклів в хвилину), амплітудою 0,25-0,75 мм з питомим тиском 1,42 МПа на протязі 20-30 с. Конструкція стенду передбачала установку двох дисків – зміцнюваного і створюючого вібрацію на різальну кромку. Перед вібраційною обробкою диск піддали піскоструминній обробці по загальноприйнятих режимах. Для дослідження впливу ступеня зміцнення віброобробкою досліджували зразки із сталі 10. Сталь, згідно ГОСТ 1050, містить, %: 0,07-0,14 С, 0,05-0,17 Si, 0,35-0,65 Mn, до 0,15 Cr, решта залізо. Досліджені зразки належали одній плавці і містили, %: 0,10 С, 0,05 Si, 0,45 Mn, 0,05 Cr. Виконали оцінку можливості зміцнення такої сталі віброобробкою внутрішньої поверхні циліндричного зразка.

**Результати досліджень.** У роботі розглянуто стержень, навантажений зосередженою силою ( $P$ ), що змінюється в часі згідно із законом  $P \sin \omega t$ . Такий експеримент був проведений при дослідженні

пластичної деформації і зміцненні металу. Аналізуючи вплив параметрів обробки виявили, що частота навантаження практично не впливала на розширення зразка при такій деформації, натомість амплітуда і час мали істотний вплив.

До циклічних навантажень, зокрема, відносяться вимушені коливання. При цьому, має місце перехід енергії від зовнішньої прикладеної сили. Ясно, що якась її частина переходить в кінетичну енергію, частина витрачається на подолання опору матеріалу, а велика частина переходить в тепло, що відповідає базовим представленням [5]. Проте, це припущення недостатньо підтверджене. Як показали наші дослідження, частина енергії переходить в пластичну і пружнопластичну деформації. Цей процес супроводжується структурними змінами і фазовими перетвореннями.

Проаналізуємо (без урахування коливань) один з варіаційних принципів рівноваги в якому ентропія є потенційною енергією [6]:

$$Entr = Py - E\left(\frac{y}{h} + y_1\right)^2 Fh = \min, \quad (1)$$

де:  $P$  – зовнішня сила;  $E$  – модуль пружності;  $F$  – площа стержня;  $h$  – висота стержня;  $y$  – переміщення при циклічній деформації;  $y_1$  – залишкова деформація.

Диференціюємо (1) по  $y$  і прирівнюємо похідну до нуля:

$$\frac{dEntr}{dy} = P - 2E\left(\frac{y}{h} + y_1\right)F = 0. \quad (2)$$

Отримуємо:

$$y = \frac{P - 2EFy_1}{2EF} h. \quad (3)$$

Підставив (3) в (1), отримуємо:

$$Entr_{\min} = \frac{Ph(P - 4EFy_1)}{4EF}. \quad (4)$$

Друга складова в (1),  $-E\left(\frac{y}{h} + y_1\right)^2 Fh$  перетворюється на  $-\frac{P^2}{4EFh}$ , тобто не залежить від  $y_1$ . Зі зростанням  $y_1$  ентропія зменшується за лінійним законом, а робота пружної деформації залишається постійною. Позначимо через номер  $i$  циклу деформації, а через  $x_i = \frac{y_i}{h}$  – на  $i$ -у номері циклу. Тоді:

$$x_i = \frac{y_i}{h} = \frac{P - 2EFy_{1i}}{2EF}. \quad (5)$$

Основна ідея полягає в тому, що використовується гіпотеза, за якою на кожному циклі накопичується залишкова деформація з урахуванням залежності:

$$y_{1i+1} = y_{1i} + kx_i, \quad (6)$$

де:  $k$  – коефіцієнт, який можна підібрати з експериментальних даних. Позначимо для скорочення запису (див. формулу (5)).

$$a = \frac{P}{2EF} . \quad (7)$$

Тоді,

$$x_i = a - y_{li} , \quad (8)$$

$$y_{li+1} = y_{li} + kx_i = y_{li} + \frac{k}{h} y_i = y_{li-1} + \frac{k}{h} (y_{li-1} + y_i) = \dots = y_{l1} + \frac{k}{h} \sum_{j=1}^i y_j . \quad (9)$$

Тоді можна написати нерівності:

$$y_{l1} + \frac{k}{h} \sum_{j=1}^i y_{\min} \leq y_{li+1} \leq y_{l1} + \frac{k}{h} \sum_{j=1}^i y_{\max} , \quad (10)$$

та

$$y_{l1} + i \frac{k}{h} y_{\min} \leq y_{li+1} \leq y_{l1} + i \frac{k}{h} y_{\max} . \quad (11)$$

Схоже, що  $y_{li}$  і  $y_i$  пов'язані близько до лінійної залежності. Для застосування цих формул пораховані значення виведених залежностей для  $E = 21000 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$ ,  $F = 1 \text{мм}^2$ ,  $h = 5 \text{мм}$ . Величина  $k$  змінювалася від  $2500 \cdot 10^{-9}$  до  $20000 \cdot 10^{-9}$  з кроком  $2500 \cdot 10^{-9}$ .

Для кожного  $k$  вираховували три варіанти обробки, що ґрунтуються на різній поведінці структурних складових матеріалу (ферит, перліт, аустеніт і розглядали  $N_{\text{цикл}} = 0, 50000$  і  $100000$  циклів.

З отриманих даних виходить, що із зростанням числа циклів  $i$  величина  $y_{li}$  росте, а  $y_i$  зменшується. Ентропія (потенційна енергія

$Entr = Py_i - EFh \left( \frac{y_i}{h} + y_{li} \right)^2$ ) зменшується, робота деформації  $EFh \left( \frac{y_i}{h} + y_{li} \right)^2$  залишається незмінною (табл. 1, табл. 2).

З розрахункових формул виходить, що із зростанням коефіцієнта  $k$  значення  $EFhy_{li}^2$  тільки наближається до показників  $2EFhy_i y_{li}$ . Ймовірно, має місце перенаклеп металу, оскільки свідчення істотно знижуються і навіть стають негативними.

Використовуючи ті ж початкові дані, але з більшим обсягом вибірки за кількістю циклів досліджений вплив  $k$  і ступеня навантаження за допомогою регресійного аналізу (методом найменших квадратів). Розрахунки показали, що обидва чинники  $k$  та  $N_{\text{цикл}}$  значимі і вони одного порядку. Крім того, показано, що лінійна модель регресії цілком прийнятна для таких завдань. Коефіцієнти кореляції знаходяться в межах 0,87 - 0,96. Звертає увагу той факт, що знаки при коефіцієнтах однакові, а це означає наявність прямої залежності між  $k$  і числом циклів. Розглянули складнішу модель для випадку, коли  $k$  залежить від глибини зони зміцнення. Залежність може бути різною, але як приклад розглянули зміну  $k$  за лінійним законом.

**1. Вплив циклів вантаження на чинники моделі, що аналізуються.**

Число циклів навантаження ( $N_{цикл}$ )	Результати розрахунку складових моделі деформаційних коливань, $\times 10^9$						
	Залишкові деформації $y_{li}$	Істинні деформації $y_i$	$EFhy_i^2$	$2EFhy_i y_{li}$	$EFhy_{li}^2$	Робота деформації $EFh(\frac{y_i}{h} + y_{li})^2$	Потенційна енергія - ентропія $Entr = Py_i - EFh(\frac{y_i}{h} + y_{li})^2$
2500	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	209	16193	1101	142	5	1248	1097
	405	15212	972	259	17	1248	955
5000	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	405	15212	972	259	17	1248	955
	763	13425	757	430	61	1248	696
7500	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	589	1491	858	354	36	1248	821
	1078	11848	590	536	122	1248	468
10000	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	763	13425	757	430	61	1248	696
	1357	10456	459	596	193	1248	266
2500	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	925	12611	668	490	90	1248	578
	1602	9227	358	621	270	1248	88
15000	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	1078	11847	589	536	122	1248	467
	1819	8143	278	622	347	1248	69
17500	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	1222	11129	520	571	157	1248	364
	2010	7186	217	607	424	1248	-207
20000	0	17238	1248	0	0	1248	1248
	1357	10455	459	596	193	1248	266
	2179	6342	169	580	499	1248	-330

**2. Вплив коефіцієнта  $k$  та кількості циклів  $N_{цикл}$  на чинники моделі.**

№ з/п	Рівняння регресії чинників моделі, $\times 10^9$	Значимість		Коефіцієнт кореляції
		$k$	$N_{цикл}$	
1	2	3	4	5
1	$y_{li} = -408,369 + 0,039 \times k + 0,161 \times N_{цикл}$	5,52	5,77	0,95
2	$y_i = 19279,917 - 0,196 \times k - 0,803 \times N_{цикл}$	5,51	5,77	0,95
3	$EFhy_i^2 = 1474,274 - 0,024 \times k - 0,097 \times N_{цикл}$	6,31	6,64	0,96

**Продовження табл. 2**

1	2	3	4	5
4	$2EFhy_i y_{1i} = -157,302 + 0,019 \times k + 0,078 \times N_{цикл}$	6,88	7,29	0,96
5	$EFhy_{1i}^2 = -69,223 + 0,005 \times k + 0,019 \times N_{цикл}$	2,54	2,59	0,87
6	$Entr = Py_i - EFh\left(\frac{y_i}{h} + y_{1i}\right)^2 = 1543,488 - 0,028 \times k - 0,116 \times N_{цикл}$	5,51	5,77	0,95

Стержень по висоті розбивали на  $m$  рівних частин:

$$Entr_i = P \sum_{j=1}^m y_{ji} - EF \sum_{j=1}^m \left( \frac{my_{ji}}{h} + y_{1ji} \right)^2 \frac{h}{m} = \min, \quad (12)$$

де:  $m$  – число розділень стержня по висоті;  $i$  – номер циклу;  $P$  – зовнішня сила;  $E$  – модуль пружності;  $F$  – площа стержня;  $h$  – висота стержня;  $y_{ji}$  – переміщення в перерізі з номером  $j$ ;  $y_{1ji}$  – залишкова деформація в перерізі з номером  $j$ .

Диференціюємо (12) по  $y$  і прирівнюємо похідну до нуля:

$$\frac{dEntr_i}{dy_{ji}} = P - 2E \left( \frac{my_{ji}}{h} + y_{1ji} \right) \frac{m}{h} F \frac{h}{m} = 0. \quad (13)$$

Отримуємо:

$$y_{ji} = \frac{P - 2EFy_{1ji}}{2EF} \frac{h}{m}, \quad (14)$$

$$y_{1j+1} = y_{1ji} + k_j y_{ji} = y_{1ji} + k_j \frac{P - 2EFy_{1ji}}{2EF} \frac{h}{m}. \quad (15)$$

Якщо  $y_{1j}$  не залежить від  $j$ , то сума (14) по  $j$  теж в точності співпадає з (3). Якщо  $y_{1j}$  залежить від  $j$  (для цього і приведено виведення формули (14)), то сума (14) по  $j$  в загальному випадку не співпадає з (3). Позначимо суму підставивши (3) в (1), і отримаємо:

$$Entr_{\min i} = \sum_{j=1}^m \frac{Ph(P - 4Ey_{1ji})}{4EF}. \quad (16)$$

На приведених нижче графіках (рис. 1, рис. 2) показані істинні і залишкові деформації  $y_j$  та  $y_{1j}$ , що відповідають закону зміни  $k$  по глибині зміцненого шару вібраційним вантаженням:

$$k_j = [10000 \pm (j-1)500] \cdot 10^{-9}.$$

При оцінці впливу 10000 циклів зміцнення поверхневого шару використали:

$$E = 21000 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}, \quad F = 1\text{мм}^2, \quad h = 5\text{мм}.$$

Залишкові деформації окрім зміцнення і наклепу супроводжуються і структурними змінами. В цьому випадку істинну деформацію можна ототожнювати з середнім значенням абсолютних величин



лапласіанів, а під залишковою – розуміти зміну структури (характеризуючи її, наприклад, нейтральністю).

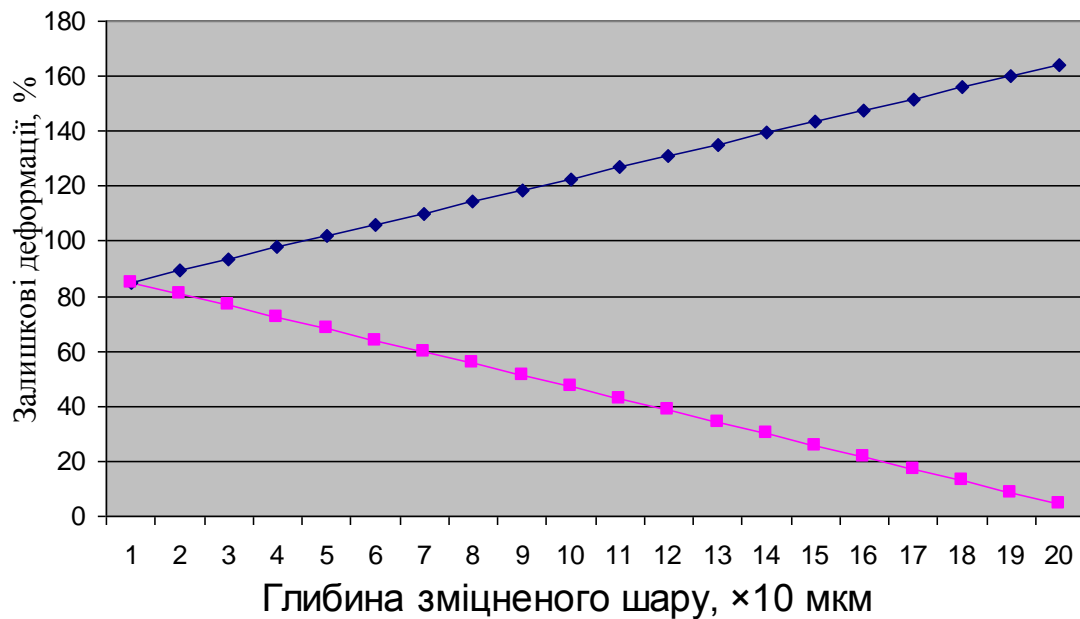


Рис. 1. Зміна залишкових деформацій  $y_{1j}$  залежно від значень  $k$ :

—■— – коефіцієнт залишкових деформацій убуває (процес залічування дефектів); —◆— – коефіцієнт зростає (процес зміцнення).

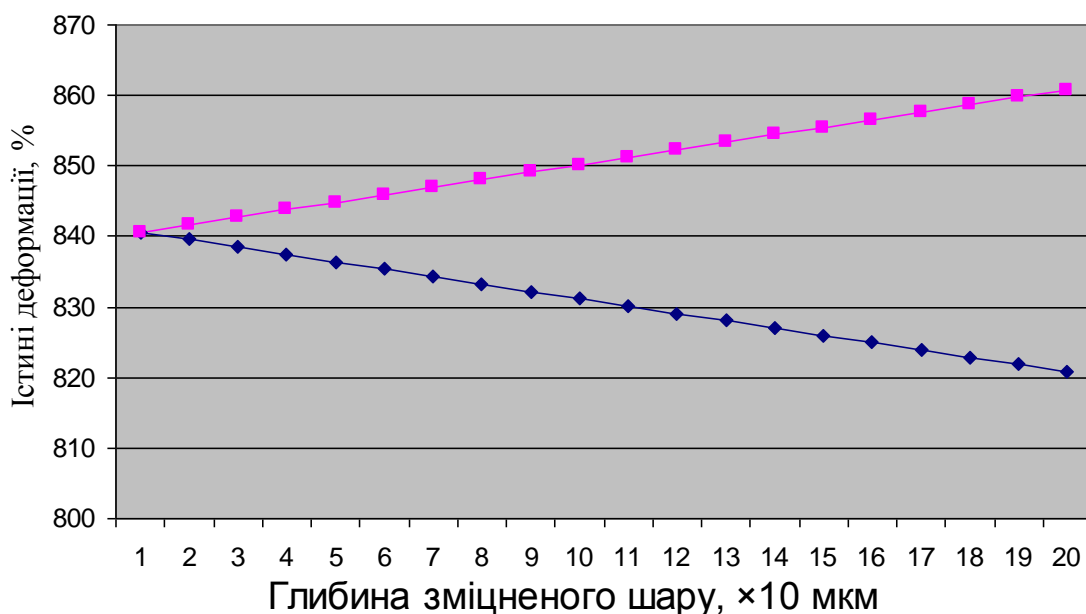


Рис. 2. Зміна істинних деформацій  $y_{1j}$  залежно від значень  $k$ :

—■— – коефіцієнт залишкових деформацій убуває (процес залічування дефектів); —◆— – коефіцієнт зростає (процес зміцнення).

Синя лінія відповідає убуванню коефіцієнта залишкової деформації від зменшення  $k$ , червона – зростанню коефіцієнта залишкової деформації від збільшення  $k$ . Відповідно, в першому випадку залишкова деформація по глибині зростає, в другому – убуває. Синю

лінію можна віднести до залічування дефектів, а червону – до зміцнення. Немає протиріч з середніми значеннями дисипації енергії з отриманих відповідних фотографій структур.

Розглянемо інші подібні моделі із залишковим ефектом після циклу навантаження. З урахуванням швидкості деформації:

$$Entr_i = P\Delta t \sum_{j=1}^m v_{ji} - F \sum_{j=1}^m S_j (v_{ji}\Delta t + l_{1ji})^2 \frac{h}{m} = \min, \quad (17)$$

де:  $m$  – число розбиття стержня по висоті;  $i$  – номер циклу;  $P$  – зовнішня сила;  $S_j$  – кінематична в'язкість в перерізі з номером  $j$ ;  $F$  – площа стержня;  $h$  – висота стержня;  $\Delta t$  – час циклу;  $v_{ji}$  – швидкість переміщення в перерізі з номером  $j$ ;  $l_{1ji}$  – залишкове переміщення в перерізі з номером  $j$  при циклічній деформації.

Диференціюємо (12) по  $i$  прирівнюємо похідну до нуля:

$$\frac{dEntr_i}{dv_{ji}} = P\Delta t - 2S_j\Delta t(v_{ji}\Delta t + l_{1ji})F \frac{h}{m} = 0. \quad (18)$$

Отримуємо:

$$v_{ji} = \frac{Pm - 2S_j F h l_{1ji}}{2S_j F h \Delta t}, \quad (19)$$

$$l_{1ji+1} = l_{1ji} + k_j v_{ji} \Delta t = y_{1ji} + k_j \frac{Pm - 2S_j F h l_{1ji}}{2S_j F h}. \quad (20)$$

Тоді  $F \sum_{j=1}^m S_j (v_{ji}\Delta t + l_{1ji})^2 \frac{h}{m}$  не залежить від  $l_{1ji}$ .

Мінімальна ентропія дорівнює:

$$Entr_{\min i} = \sum_{j=1}^m \frac{P(mP - 4S_j F h l_{1ji})}{4S_j F h}. \quad (21)$$

Розглянемо рівняння подовжніх коливань стержня. Раніше розглянули вплив циклічного вантаження на стержень без урахування інерційних сил, але для процесу віброобробки їх вплив істотний. Без урахування динамічних коливань картина зміни структури металу буде неповною. Розглянемо просте завдання:

$$-m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EF(y - \frac{P_{\min}}{EF}) = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})|\sin \omega t|, \quad (22)$$

де:  $m$  – маса;  $-m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$  – добуток маси на прискорення із зворотним знаком – це сила інерції;  $E$  – модуль пружності;  $F$  – площа стержня;  $P_{\min}$  – мінімальна сила від вібратора;  $P_{\max}$  – максимальна сила від вібратора;  $\frac{P_{\min}}{EF}$  – мінімальне переміщення;  $y$  – шукане переміщення;

$EF(y - \frac{P_{\min}}{EF})$  – сила пружного опору;  $P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})|\sin \omega t|$  – зовнішня змінна сила від вібратора;  $\omega$  – частота вібратора;  $t$  – час.

Рівняння набирає вигляду  $-m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EFy = 2P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})|\sin \omega t|$ .

Розглянемо різницеву схему. Розіб'ємо стержень заввишки  $h$  на  $n$  рівних частин з кроком  $\Delta h = \frac{h}{n}$ . Таким точкам з координатами

$y_{qi} = q\Delta h$  (індекс  $i$  відноситься до часу) приписуємо масу  $m_q = \frac{\gamma F \Delta h}{g}$ , де:

$\gamma = 7850 \cdot 10^{-9} \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^3}$  – питома вага;  $g$  – прискорення сили тяжіння

Для отримання прийнятної точності розрахунків час розбивали на мале число кроків:  $\Delta t = 2\pi\omega \cdot 10^{-6}$  с. Розрахунки показали, що з таким кроком за часом, наведена нижче різницева схема є стійкою.

Перша похідна за часом в різницевому виді у момент часу  $i$ :  $\frac{y_{qi-1} - y_{qi}}{\Delta t}$ . Перша похідна за часом в різницевому виді відповідає мо-

мент часу  $i+1$ :  $\frac{y_{qi} - y_{qi+1}}{\Delta t}$ . Віднімаючи з першої формули другу і розді-

ливши на  $\Delta t$ , отримаємо формулу для другої похідної:  $\frac{y_{qi-1} - 2y_{qi} + y_{qi+1}}{\Delta t^2}$ . Різницева схема виглядає так:

$$-m_q \frac{y_{qi-1} - 2y_{qi} + y_{qi+1}}{\Delta t^2} + EFy_{qi+1} = 2P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})|\sin \omega i \Delta t|. \quad (23)$$

Звідки,

$$y_{qi+1} = \frac{m_q (y_{qi-1} - 2y_{qi}) + [2P_{\min} + (P_{\max} - P_{mi\Delta B\Delta n})|\sin \omega i \Delta t|]\Delta t^2}{EF\Delta t^2 - m}. \quad (24)$$

Поставлене таким чином завдання визначає однакові амплітуди коливань в усіх точках стержня (рис. 3).

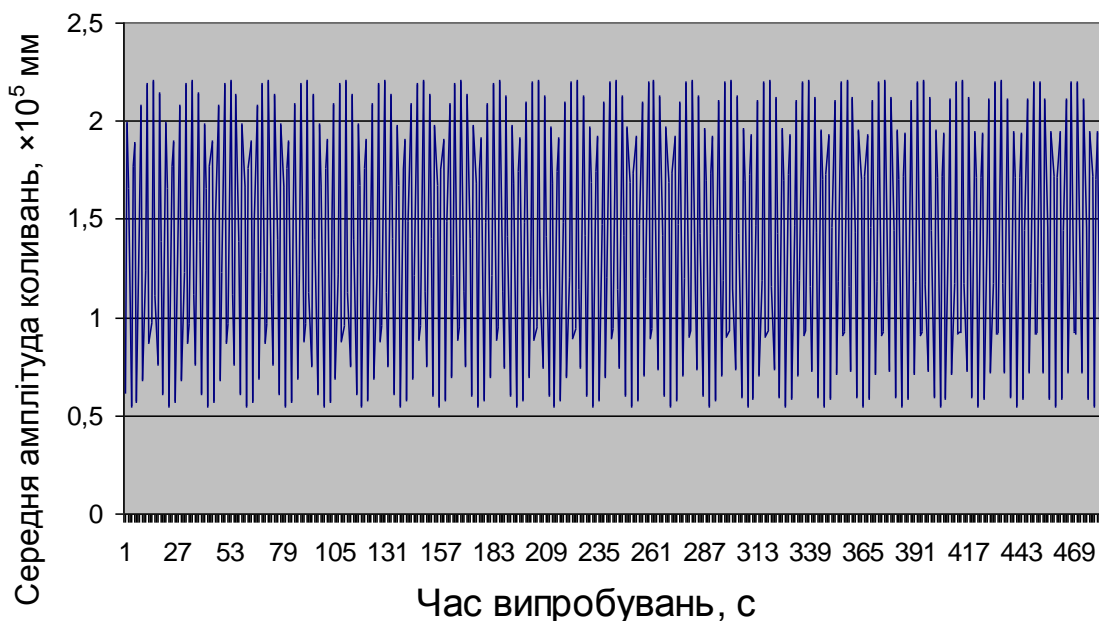


Рис. 3. Характер однакових амплітуд коливань з частотою 33 Гц.

Середня амплітуда для частот 33 Гц і 11 Гц склала  $1,379 \cdot 10^{-5}$  мм.

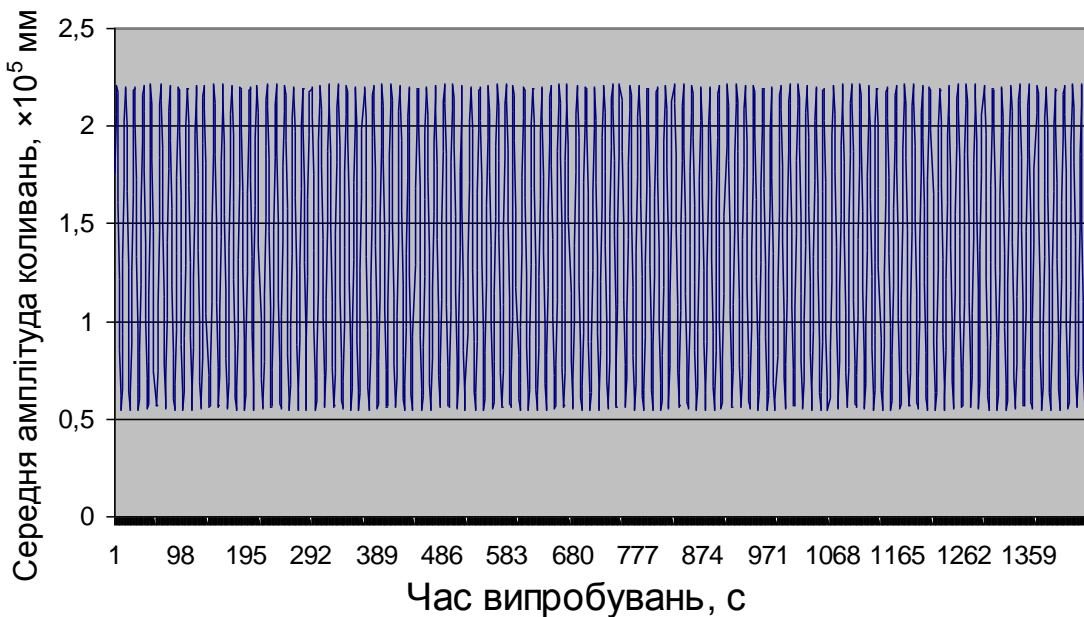


Рис. 4. Характер амплітуд коливань з частотою 11 Гц.

**Висновок.** Вперше розроблена математична модель деформаційних навантажень при віброобробці робочих органів сільськогосподарської техніки, що враховує перехід частини енергії в пластичну і пружнопластичну деформації, дозволила встановити, що частота навантаження 33 Гц і 11 Гц практично не впливає на зміни в робочому шарі, натомість амплітуда і час мають істотний вплив на процеси зміцнення. Залишкові деформації окрім зміцнення і наклепу супроводжуються і структурними змінами. В цьому випадку істинну деформацію можна ототожнювати з середнім значенням абсолютних величин лапласіанів, а під залишковою – розуміти зміну структури (характеризуючи її, наприклад, нейтральністю).

### Список літератури

1. *Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки* / за ред. В. І. Кравчука, Н. І. Грицишина, С. М. Ковалюка. – К.: Аграрная наука, 2004. – 396 с.
2. *Степанский А. Г.* Расчеты процессов обработки металлов давлением / А. Г. Степанский. – М.: Машиностроение, 1979. – 211 с.
3. *Проников А. С.* Надёжность машин / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1988. – 592 с.
4. *Карнов М. Я.* Влияние вибрационного метода обработки / М. Я. Карнов. – М.: Машиностроение, 1989. – 382 с.
5. *Макклиток Ф.* Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон. – М.: Мир, 1970. – 443 с.
6. *Васидзу К.* Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Пер. с англ. / К. Васидзу. – М.: Мир, 1987. – 542 с.

*Разработана математическая модель деформационных нагрузок при виброобработке рабочих органов сельскохозяйственной техники, которая учитывает переход части энергии в пластичную и упругопластические деформации, позволила проанализировать влияние параметров обработки и установить, что частота нагрузки практически не влияет на изменения в рабочем слое, зато амплитуда и время имеют существенное влияние на процессы упрочнения.*

**Диск копача, виброобработка рабочих органов, математическая модель, деформационные нагрузки.**

*The worked out mathematical model of the deformation loading at vibrotreatment of working organs of agricultural technique that takes into account passing of part of energy to plastic and пружньопластичну deformations allowed to analyse influence of parameters of treatment and set that frequency of loading practically does not influence on changes in a working layer, but amplitude and time have substantial influence on the processes of strengthening.*

**Disk, vibrotreatment of working organs, mathematical model, deformation loading.**

УДК 631.3

## **АНАЛІЗ ВІДМОВ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ**

**А. В. Новицький, З. В. Ружило, кандидати технічних наук**

*Викладено аналіз проблем надійності машин для приготування і роздавання кормів в аграрному секторі України. Проведена оцінка характерних відмов в залежності від особливостей умов і режимів їх експлуатації.*

**Аналіз, відмова, засіб, корм.**

**Постановка проблеми.** В результаті проведених з початку 90-х років реформ в агропромисловому комплексі України відбулося зниження обсягів та економічної ефективності виробництва продукції тваринництва. Істотно скоротилося поголів'я тварин, погіршився генетичний і виробничий потенціал галузі, загострилася конкуренція з боку підвищеного імпорту.

© А. В. Новицький, З. В. Ружило, 2015

Аналіз наявності основних видів техніки у сільськогосподарських підприємствах України показує, що станом на 1 січня 2014 року нараховувалось 3793 машини і механізми для приготування кормів, та 3960 роздавачів кормів для великої рогатої худоби штук. За період з 2010 року до 2014 року кількість машин і механізмів для приготування кормів зросла лише на 19%, а роздавачів кормів для великої рогатої худоби навіть зменшилась на 14%. На сучасному етапі розвитку тваринництва в світі, так і в Україні все більшого поширення набувають засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК), які поєднують виконання операцій навантаження, подрібнення і змішування, а також забезпечують транспортування і дозоване їх роздавання.

**Аналіз останніх досліджень.** Не кращі часи переживає сьогодні вітчизняне сільськогосподарське машинобудування, але разом з тим, в Україні налагоджене виробництво сучасних ЗПРК. Виробництво цих машин розпочато на машинобудівних підприємствах нашої держави: ВАТ «Брацлавський завод сільськогосподарських машин», ВАТ «Уманьферммаш» та ВАТ «Галещина Машзавод» [1, с. 96-99]. Рівень надійності вітчизняних ЗПРК, в значній мірі, досягається завдяки використанню основних вузлів і агрегатів від провідних світових виробників з Італії, Росії та України [1, с. 99-100; 5, с. 108-109]. Але, як показує аналіз, спроби створити вітчизняні ЗПРК на рівні кращих зарубіжних зразків закінчились дрібносерійним виробництвом. У цій ситуації сільськогосподарські виробники вимушені купувати імпортні подрібнювачі – змішувачі, які за надто дорогі і не завжди адаптовані до місцевих умов експлуатації. В останні роки в наукових статтях проводиться порівняльний аналіз багатофункціональних роздавачів-змішувачів з різними робочими органами та структурними схемами операцій, розглядаються напрями подальшого вдосконалення конструктивних рішень [6, с. 287-289].

Але разом з тим, як показує аналіз теоретичних і практичних робіт, в них зменшилось проведення фундаментальних досліджень, які були б пов'язані з проблемою оцінки та забезпечення надійності ЗПРК, а тим більше із забезпеченням працездатності старіючих машин та обладнання для приготування кормів та роздавачів кормів [3, с. 156-158]. Крім того, виникають проблеми у підготовці обслуговуючого персоналу, як для експлуатації цих машин, так і для їх сервісного обслуговування, технічного обслуговування і ремонту [4, с. 357-359; 6, с. 198-200].

Досвід експлуатації ЗПРК на фермах ВРХ показує, що такої важливій проблемі, як методам оцінки та забезпечення експлуатаційної надійності складних систем, якими є мобільні та причіпні фермські комбайни, подрібнювачі-змішувачі приділяється ще не достатньо уваги.

**Мета досліджень.** Виходячи з аналізу, метою статті являється оцінка надійності та встановлення характерних відмов засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів їх експлуатації.

**Результати досліджень.** ЗПРК експлуатується в складних умовах впливу зовнішнього середовища, внутрішнього середовища приміщень в яких функціонують, навантажень при виконанні технологічних процесів. Найбільш навантаженим і напруженим періодом роботи ЗПРК на протязі року є період стійлового утримання худоби. Він характеризується різними погодними умовами, зміною в широких межах температури і вологості.

Умови експлуатації ЗПРК ускладнені високим вмістом в повітрі пилу. Додатково на механізми впливають силові і вібраційні навантаження, які обумовлені роботою безпосередньо ЗПРК та інших машин та обладнання, яке використовується на площадках для навантаження кормів та безпосередньо в приміщеннях ферм.

Виконання робіт з навантаження, подрібнення і змішування кормів і приготування кормових сумішей передбачає ймовірність випадкової взаємодії робочих органів ЗПРК з твердими включеннями. Для запобігання можливих пошкоджень механізмів, в їх конструкціях передбачені різноманітні захисні пристрої, які повинні спрацьовувати при перевантаженнях, що виникають в наслідок нерівномірної подачі або ж понад допустимої кількості складових кормів під час навантаження, подрібнення та змішування, або ж порушення режимів роботи засобу. Суттєвий вплив на навантаження механізмів подрібнення і змішування ЗПРК вносить послідовність завантаження складових кормів у бункер. Для запобігання забиванню необхідно спочатку завантажувати компоненти з малою структурою, що дозволить запобігти забиванню вказаних механізмів.

Причиною перевантаження ЗПРК також може бути заповнення бункера квадратними або ж круглими тюками при підвищеній частоті обертання вала змішувального шнека. Можливе закручування стеблової маси, що також стає причиною перевантаження, а інколи навіть зупинки роботи механізму подрібнення і змішування. Тому, при переробці квадратних або ж круглих тюків рекомендується розвернути контр ножі в бункері на пасивну взаємодію з кормами та розпочинати роботу при повільній частоті обертання вхідного вала змішувального шнека.

Умови роботи механізмів ЗПРК відрізняються високим ступенем запиленості атмосфери. Значна запиленість пояснюється наявністю пилу на стеблах сіна або ж соломи, а також відділення дрібних складових абразивного й органічного характеру, які містяться в складі комбікормів та зерна. Робота механізмів і, особливо, робочих

органів ЗПРК в таких умовах ускладнюється їх інтенсивним зношуванням. Але крім перерахованих вище, умови роботи ЗПРК також характеризуються високим впливом агресивного середовища, що є причиною корозії. Вплив корозії пояснюється не лише взаємодією деталей з трав'яним і кукурудзяним силосом, але й кормовими добавками з високим вмістом води, такими як пивна дробина, картопляна мезга. Слід зазначити, що умови експлуатації ЗПРК в приміщеннях тваринницьких ферм ускладнені високим вмістом в повітрі вологи, аміаку та вуглекислоти.

При функціонуванні засобів можливі раптові аварійні пошкодження робочих органів, особливо при попаданні разом з складовими кормів сторонніх твердих предметів. Крім того, аварійні пошкодження можуть виникнути і в результаті втомної дії циклічних навантажень, або перевантажень обумовлених нерівномірною подачею складових кормів. Раптові (аварійні) пошкодження характеризуються різною інтенсивністю їх проявлення і нажаль займають немале місце серед причин виходу з ладу робочих органів ЗПРК. В практиці експлуатації ЗПРК зустрічаються відмови пов'язані з різного роду відмовами приводу механізмів завантаження кормів, подрібнення-змішування та вивантаження кормової суміші. В період експлуатації були зафіксовані відмови в наслідок негерметичності гідравлічної апаратури та редуктора, відмови підшипникових вузлів механізмів приводу, причиною яких були перевантаження, підтікання оливи в місцях з'єднання гідравлічних рукавів та гідравлічного циліндра.

Досвід експлуатації показує, що деталі і вузли ЗПРК зношуються з різною інтенсивністю. Це пояснюється тим, що деталі і вузли виготовляються з різних матеріалів, мають різну зносостійкість та навантаження в процесі їх використання. Наприклад, активні деталі та робочі органи (ножі, шнеки, вали, мішалки та ін.) несуть більше навантаження, ніж пасивні (опорні плити, рами, корпуси та інші). Крім того, допуски на розміри і посадку деталей, які забезпечуються підприємствами-виробниками коливається у великих межах. В результаті чого, одні й ті ж сполучення мають різні допустимі зазори або натяги, а процес зношування в кожному випадку протікають з різною інтенсивністю. Відмови, що обумовлені зношуванням деталей займають суттєву долю серед інших відмов характерних для ЗПРК. В більшій мірі вони проявляються з часом експлуатації машин. В умовах запиленості та наявності абразивних частинок, домінуючою формою зношування є абразивне. Цей вид зношування обумовлений безпосередньою взаємодією робочих поверхонь робочих органів та корпусних деталей з твердими абразивними частинками, які знаходяться в запиленому повітрі або на поверхні частинок складових кормів, які попадають в зону тертя. В залежності від виду контакту та



механізму протікання процесу, може спостерігатися абразивне зношування мікрорізнанням, коли під дією твердої частинки з поверхні металу робочого органу відокремлюється мікростружка. Можливе і деформаційне руйнування поверхні частинкою, яка переміщується по поверхні робочих органів. В результаті багато циклових навантажень на поверхнях тертя деталей проявляється втомне зношування з відокремленням частинок металу.

Важливе місце в підвищенні інтенсивності процесів зношування відіграє наявність зволоженої рослинної маси та кормових добавок. Вони сприяють зниженню міцності поверхневих шарів металу внаслідок проникнення молекул поверхово-активних речовин структуру металу. Крім цього хімічно-активні складові безпосередньо впливають на активізовані механічною дією поверхні тертя, вступають з ними в реакції і утворюють плівки з'єднань, які потім відокремлюються у вигляді продуктів зношування і виконують функцію абразивних частинок. Представлений механізм проявлення пошкоджень показує, що домінуючим впливом на деталі та робочі органи є корозійно-механічне зношування. Даний вид зносу характерний для ножів та фрез, різальних і протиризальних ножів, шнеків та інших робочих елементів механізмів ЗПРК.

Слід зазначити, що іншими причинами проявлення окремих пошкоджень та відмов є недостатня якість виготовлення деталей і вузлів. Невідповідність матеріалів деталей, відхилення від технології виготовлення, включаючи шорсткість поверхні й фінішну обробку, низька культура виробництва, відсутність технічного контролю призводить до виникнення відмов ЗПРК в процесі їх виробництва. Перераховані причини призводять до виникнення відмов в механізмах приводу, трансмісіях, бункерах і проявляються у вигляді перекосів, руйнування валів та кронштейнів від втомленості матеріалу, тріщин зварних швів. Певна частина відмов є наслідком недосконалості у конструкторських розрахунках, виборі матеріалів або ж обґрунтуванні конструктивних параметрів деталей і вузлів. Це, в першу чергу, проявляється при руйнуванні від втомленості матеріалів, коли деталі не витримують необхідної кількості циклів навантаження.

В значній мірі саме з особливостями конструкції пов'язані відмови ЗПРК з різним типом приводу змішувальних робочих органів. Конструкції ЗПРК можна розділити на машини з горизонтальним і вертикальним розташуванням змішувальних робочих органів. Змішувачі-роздавачі горизонтального типу в порівнянні з тими, що відносяться до вертикального типу, краще подрібнюють і змішують компоненти корму і забезпечують більш високу рівномірність роздавання суміші. Але разом з тим, горизонтальні змішувачі мають дуже невеликий дорожній просвіт, що ускладнює їх використання на нев-

порядкованих фермах, в приміщеннях ферм, які збудовані не за типовими проектами, та при експлуатації на ґрунтових дорогах. Слід зазначити, що змішувачі горизонтального типу дуже чутливі до сторонніх включень через малі зазори між ріжучими і протиріжучими елементами. Камені, шматки будівельних матеріалів та інші сторонні предмети, що потрапляють з кормами в бункери машин, призводять до серйозних поломок, на усунення яких потрібно багато часу і коштів. Вертикальні змішувачі, як правило, мають більший дорожній просвіт, вони менш чутливі до сторонніх включень, які можуть потрапляти з кормами на подрібнення, але роздають кормову суміш менш рівномірно. При однаковій місткості бункера вертикальні змішувачі вищі, ніж горизонтальні, що значно ускладнює їх використання в приміщеннях з низьким заїздами в приміщення ферм і перекриттями. Однак, в останні роки вертикальні кормозмішувачі витісняють горизонтальні.

Для приготування та роздавання кормових сумішей тваринам широке застосування в господарствах знаходять мобільні кормороздавачі - змішувачі зі зважувальним пристроєм. Такі засоби випускаються як зарубіжними, так і вітчизняними заводами-виготовлювачами. Як показує аналіз, зустрічаються відмови вказаних пристроїв, які пов'язані з порушенням в роботі електронних систем ЗПРК. Вказані відмови можуть виникати раптово, або формуватися поступово приводячи до зміни функціональних параметрів зважувальних пристроїв та механізмів дозування.

Інша частка відмов припадає на ходову частину. Значне навантаження на колеса, особливо для одновісних ЗПРК, призводить до того, що колеса швидко виходять з ладу. Виходячи з цього, для зменшення відмов ходових частин, нераціонально вказані машини використовувати для транспортування кормових сумішей від центральної ферми на інші ферми господарств.

**Висновок.** Проведений аналіз причин відмов вітчизняних та закордонних засобів для приготування і роздавання кормів показує, що переважаючий вплив на відмови має механічне та корозійно-механічне зношування. Вивчення особливостей умов і режимів експлуатації ЗПРК вказує на те, що забезпечення високих показників надійності можуть бути досягнуті вирішенням наступних задач: відпрацюванням нових конструкцій машин та сучасних технологій виробництва машин; використання новітніх матеріалів та технологій зміцнення деталей; формування нових підходів і створення моделей надійності систем «людина-машина» з виявленням ролі людського фактора в загальній проблемі забезпечення необхідного рівня техніки; випробовуванням машин на стендах і в реальній експлуатації з метою виявлення слабких ланок та оптимізація основних показників надійності.

## Список літератури

1. *Аналіз вітчизняних засобів для приготування і роздавання кормів / А. В. Новицький, С. С. Карабиньов, В. М. Чміль, О. М. Коморний // Миколаїв: МДАУ, Матеріали УШ Міжнародної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології 2012», 2012. – С. 96–101.*
2. *Бойко А. И. Логико-вероятностная модель оценки надёжности сельскохозяйственных машин / А. И. Бойко, А. В. Новицкий, А. А. Банний, А. В. Кондратюк // «Технические науки – от теории к практике» сборник статей по материалам ХХІХ международной научно – практической конференции, № 12 (25). – Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2013. – С. 149–156.*
3. *Новицький А. В. Аналіз надійності засобів для приготування і роздавання кормів методом дерева відмов / А. В. Новицький, О. О. Банний / Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2011. – Vol. 13 В. – С. 117–123.*
4. *Новицький А. В. Визначення показників надійності системи приготування і роздавання кормів / А. В. Новицький // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 355–361.*
5. *Ревенко І. Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі / І. Ревенко, Т. Лісовенко, В. Хмельовський // Пропозиція. – 2008. – № 9. – С. 106–114.*
6. *Хмельовський В. С. Класифікація багатофункціональних роздавачів-змішувачів / В. С. Хмельовський, О. М. Пилипенко, О. М. Ачкевич // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2009. – Вип. 79. – С. 286–294.*

*Изложен анализ проблем надежности машин для приготовления и раздачи кормов в аграрном секторе Украины. Проведена оценка характерных отказов в зависимости от особенностей условий и режимов их эксплуатации.*

***Анализ, отказ, средство, корм.***

*The paper analyzes the problems of machines for making and distribution of feed in the agricultural sector of Ukraine. The conducted estimation of reliability of machines for making and distribution of feed is from the features of terms and modes of their exploitation.*

***Analysis, refusal, mean, feed.***

## МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РОЗПУШЕННЯ ГРУНТУ КОМБІНОВАНИМ АГРЕГАТОМ

*Г. В. Теслюк, Б. А. Волик, А. М. Пугач, кандидати технічних наук  
Дніпропетровський державний аграрно-економічний  
університет*

*В роботі розглядаються питання пов'язані з раціоналізацією комплектації комбінованих ґрунтообробних агрегатів. За основу прийняті тяговий опір та якість розпушення ґрунту робочими органами різної геометричної форми. Математична модель побудована з використанням основних положень теорії внутрішньої напруги у ґрунті.*

**Обробіток ґрунту, комбінований агрегат, внутрішня напруга в ґрунті, розпушення ґрунту.**

**Постановка проблеми.** Сучасна тенденція до створення все більш складних комбінованих ґрунтообробних агрегатів підвищує вимоги до узгодження параметрів робочих органів, що в цей агрегат входять. Основні показники, що потребують такого узгодження – тяговий опір і якість розпушення ґрунту. Вони в значній мірі визначають кількісний склад і вид робочих органів, їх конструктивні параметри.

Існує два шляхи відпрацювання конструкції – це модельні і аналітичні дослідження. Робота з натурними зразками машин занадто громіздка і вимагає багато часу.

Перевага аналітичних досліджень полягає в тому, що їх можна виконати на проектному етапі, але для цього потрібна єдина модель взаємодії робочих органів різної геометричної форми з оброблюваним середовищем. На даний момент існують аналітичні моделі стосовно конкретних робочих органів. Механічне їх поєднання призводить до значних похибок в розрахунках, що зводить на нівець саму можливість виконання таких розрахунків. Потрібен єдиний підхід

**Аналіз останніх досліджень.** Найбільш близько до створення моделі взаємодії знаряддя довільної геометричної форми з середовищем підійшов А. М. Панченко [3, 4], який створив аналітичну теорію розрахунку ступеня розпушення ґрунту для різних складових ріжучого периметра, включаючи різні варіанти орієнтації у просторі. Основні положення цієї моделі можна представити наступним чином.

При відокремленні від загального масиву елементарної скиби ґрунту необхідно подолати внутрішню напругу, яку визначають за формулою:

$$G = \frac{R_C}{b \cdot a}, \quad (1)$$

де:  $R_C$  – результуюча сила зчеплення часток ґрунту на ділянці відокремлення;  $b$ ,  $a$  – поперечний перетин скиби.

$$R_C = \frac{P_0 \cdot (1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

де:  $P_0$  – результуюча осьова сила зчеплення часток;  $\alpha$  – кут укладання часток.

Методика визначення  $G$  детально викладена в [3]. Результуючу осьову силу зчеплення можна визначити знаючи питоме зчеплення часток ґрунту, яке у свою чергу визначається твердоміром ДорН-ДІ [1, 2]. Остаточо, ступінь розпушення:

$$i = \frac{2 \cdot K_p \cdot E}{G^2} + 1, \quad (3)$$

де:  $K_p$  – питомий коефіцієнт різання ґрунту;  $E$  – модуль пружності ґрунту.

Питомий коефіцієнт різання ґрунту визначається як відношення опору різання на поперечний перетин скиби. У відповідності до методики, робочий орган ототожнюється з елементарним долотом з наведеною шириною захвату, для якого опір різанню визначається:

$$P = C_{y\partial} \cdot F_{ск}, \quad (4)$$

де:  $F_{ск}$  – сумарна площа зколу;  $C_{y\partial}$  – питоме зчеплення часток ґрунту.

Як впливає з наведеного, проблема полягає в визначенні питомого коефіцієнта різання ґрунту, яке створює робоча поверхня. У відповідності до [3, 4] питомий коефіцієнт різання ґрунту визначається як відношення проекції на напрямок руху всіх діючих сил до площі поперечного перетину скиби. Діючі сили у свою чергу залежать від форми робочої поверхні, швидкості руху та механіко-технологічних властивостей ґрунту.

**Мета досліджень** є розробка єдиної аналітичної моделі розпушення ґрунту робочим органом довільної геометричної форми.

**Результати досліджень.** Сутність виконаних нами досліджень полягає в тому, що необхідно визначити реакцію оброблюваного середовища на елементарний клин і наступним етапом шляхом інтегрування по поверхні робочого органу визначити загальну реакцію. Скористаємось елементами методики, викладеної в [5].

Розглянемо розрахункову схему рис. 1. Лінії АВ, ВС, СА – сліди перетину робочої поверхні довільної геометричної форми з площинами координат. Приймаємо, що ділянка АВС нескінченно мала, що дає нам підставу вважати сліди прямолінійними. Виріжемо на поверхні АВС нескінченно малу прямокутну площадку DEFG.

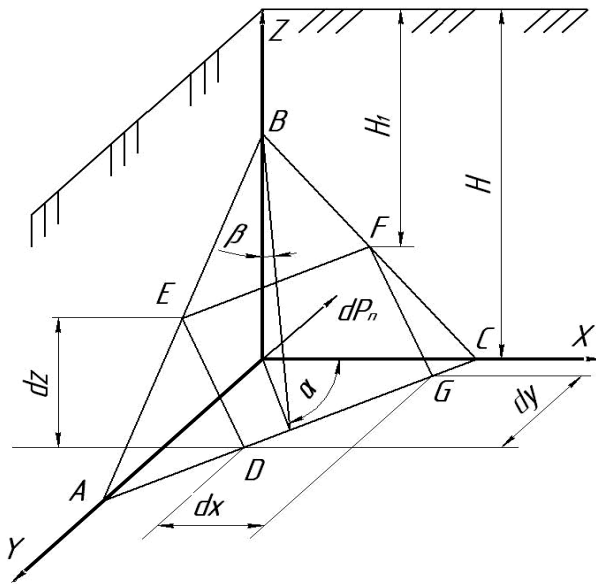


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії елементарної площадки з середовищем.

Таку елементарну площадку можна розглядати як підпорну стінку, на яку діє сила:

$$P = P_n + P_{\text{Тр}} + P_D, \quad (5)$$

де:  $P_n$  – підпорний боковий тиск;  $P_{\text{Тр}}$  – сила тертя;  $P_D$  – динамічна складова сил тиску.

У відповідності до [6] для нескінченно малої площадки рівняння підпорної стінки прийме вид (обґрунтування можливості застосування рівняння підпорної стінки на робочих швидкостях землерийних та ґрунтообробних машин дано у роботах [1, 3, 5]).

$$dP_n = \frac{\gamma \cdot (2 \cdot H + dz) \cdot dz}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \left[ \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\varphi_2 - \beta}{2}) + \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cdot \cos \beta \cdot dy, \quad (6)$$

де:  $DG = dy / \cos \alpha$ ;  $H - H_1 = dz$ ;  $\gamma$  – питома вага ґрунту;  $\beta$  – кут постановки площадки до вертикалі;  $H, H_1$  – відповідно глибина розташування нижнього та верхнього обрізів площадки.

Зважаючи на малість величини  $dz$  з достатнім ступенем точності можна прийняти:

$$dP_n = \frac{\gamma \cdot H}{\cos \alpha} \cdot \left[ \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\varphi_2 - \beta}{2}) + \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cdot \cos \beta \cdot dy \cdot dz, \quad (6)$$

що надає можливість перейти до єдиної форми запису диференціальних рівнянь. Динамічну складову визначаємо за формулою Ю. А. Ветрова:

$$dP_D = b \cdot a \cdot \gamma \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 = \gamma \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 \cdot dy \cdot dz, \quad (7)$$

де:  $a, b$  – відповідно висота і ширина площадки;  $\alpha_p$  – кут різання;  $\theta$  – задній кут;  $V$  – швидкість руху.

Сила тертя:

$$dP_{Tp} = \gamma \cdot \left\{ \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \left[ \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi_2 - \beta}{2} \right) + \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cdot \cos \beta + \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 \right\} \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot dy \cdot dz, \quad (8)$$

де:  $\varphi_1$  – кут зовнішнього тертя ґрунту по сталі.

Таким чином, знаючи рівняння поверхні робочого органу, можна шляхом інтегрування по поверхні визначити загальну реакцію і наступним етапом за формулою (3) визначити ступінь розпушення.

Далі, якщо прийняти отримане значення  $i$  за початкову ступінь розпушення, то зачальна ступінь розпушення від дії кількох робочих органів буде визначатись залежністю  $i_{\Sigma} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_K$ , де  $K$  – кількість робочих органів.

**Висновок.** Запропонована методика дозволяє оцінити ступінь розпушення ґрунту групою різних робочих органів, використовуючи при цьому єдину аналітичну базу. Це дозволяє використовувати основні її положення в проектних розрахунках комбінованих ґрунтообробних агрегатів.

### Список літератури

1. Кобець А. С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок : монографія / А. С. Кобець, Б. А. Волик, А. М. Пуґач. – Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2011. – 140 с.
2. *Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : навч. посіб.* / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов; Дніпропетр. держ. аграр. ун-т. – Д., 2009. – 84 с.
3. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
4. Панченко А. Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий: учебное пособие / А. Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1995. – 96 с.
5. Семенюта А. М. Методика розрахунку загальної реакції різання ґрунту поверхнею довільної геометричної форми / А. М. Семенюта, О. В. Білокопитов. – Днепропетровск: ДДАУ, 2005. – 96 с.
6. Цытович Н. А. Механика ґрунтов (краткий курс) : учебник [для строит. вузов] / Н. А. Цытович. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

*В работе рассмотрены вопросы, связанные с рационализацией комплектации комбинированных почвообрабатывающих агрегатов. За основу приняты тяговое сопротивление и качество рыхления почвы рабочими органами различной геометрической формы. Математическая модель построена с использованием основных положений теории внутреннего напряжения в почве.*

**Обработка почвы, комбинированный агрегат, внутреннее напряженье в почве, рыхление почвы.**

*The paper considers issues related to streamlining the bundling of combined tillage units. The basis taken traction resistance and quality tillage courtier bodies of different geometric shapes. Mathematical model of postroena using the basic provisions of the theory of internal stress in the soil.*

***Tillage, combination unit, internal napryajenie in soil, loosening the soil.***

УДК 631.319.07-02

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИМИ АГРЕГАТАМИ ЯК ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

***М. П. Артёмов, доктор технічних наук  
Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка***

*У статті запропоновано теоретичний підхід для дослідження керованості і стійкості руху мобільного сільськогосподарського агрегату, представленого у вигляді динамічної системи, що моделює його рух, яку використовують для оптимізації процесу керування. Експериментальну методику використовуємо для визначення кутів відхилення агрегату в процесі його роботи та вчасного забезпечення оптимізації параметрів керування.*

***Динамічна система, параметри, моделювання, мобільний сільськогосподарський агрегат, керування.***

**Постановка проблеми.** Сільськогосподарські агрегати – складні динамічні системи. Вони працюють в умовах, що впливають на багаточисельні найрізноманітніші зовнішні фактори, які постійно змінюються. Для мобільних агрегатів такими факторами є нерівності поверхні поля, фізико-механічні властивості ґрунту (вологість, щільність, механічний склад та ін.), витрати які необхідно вкласти на її обробку і переміщення агрегату; властивості рослин (врожайність, забрудненість та ін.), зміна маси агрегату у процесі виконання технологічного процесу та ін.

**Аналіз останніх досліджень.** У мобільних сільськогосподарських агрегатів (МСА) змінність зовнішніх факторів при взаємодії робочих органів машин із оброблюваним середовищем

© М. П. Артёмов, 2015



(ґрунтом, рослинами) і рушіїв з поверхнею поля носить складний характер руху окремих точок, що характеризує в значній мірі якість багатьох операцій з обробітку ґрунту (оранка, міжрядна культивуація та ін.). Наукові основи досліджень і випробувань сільськогосподарської техніки закладені академіком В. П. Горячкіним, який назвав новий напрямок у науці – "землеробська механіка"[1]. П. М. Василенко в подальшому за допомогою рівнянь механіки описав процес появи випадкових збурень руху сільськогосподарської машини [2]. У своїх чисельних працях з землеробської механіки вони звертали увагу на імовірний, випадковий характер показників роботи сільськогосподарських агрегатів через змінність зовнішніх умов. Для вирішення задач загальної і статистичної динаміки мобільних сільськогосподарських агрегатів виникає необхідність у побудові моделей їх руху. У загальному випадку рівняння руху мобільних агрегатів будуть нелінійними і це значно ускладнює задачу контролю за впливом керуючих дій для забезпечення якості виконання агротехнічних операцій. Реакція на керуючі дії(впливи) може характеризувати не тільки ступінь досконалості, її функціональну стабільність, а також і технічний стан машини. Поведінку агрегату, його функціонування під час виконання технологічних операцій в нормальних умовах експлуатації, описали за допомогою розроблених раніше теоретичних методів і засобів експериментальних досліджень руху МСА. Вивченню задач динаміки сільськогосподарських агрегатів приділили багато уваги Василенко П. М., Погорілий Л. В., Анілович В. Я., Кутьков Г. М., Рославцев А. В., Надикто В. Т., Булгаков В. М., Гячев Л. В., Гуков С. Я., Подригало М. А. та ін. Кожен з них вирішував окрему задачу динаміки, а в цілому було зроблено великий вклад в теоретичне обґрунтування комплектації та ефективної роботи агрегатів. Було розроблено і запропоновано для розгляду динамічні моделі МСА, що забезпечили вирішення багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегату на показники його руху і роботи [3, 4]. МСА відносяться до динамічних систем, математичні моделі яких відображають взаємозв'язок між вихідними і вхідними впливами, їх похідними і інтегралами [5]. Динамічні властивості тракторних агрегатів суттєво залежать від параметрів основних елементів (деталей, агрегатів і т.д.), контроль технічного стану яких може бути виконаний шляхом аналізу їх динамічних характеристик.

Це можуть бути системи звичайних диференціальних рівнянь у частинних похідних, відповідні дискретні моделі та ін. Відмінною особливістю математичного опису будь-якої динамічної системи є те, що її поведінка розвивається у часі та характеризується  $n$  функціями  $x_1(t), \dots, x_n(t)$ , які називаються змінними стану (фазовими координатами) системи.

**Мета досліджень.** Для визначення параметрів керування мобільними сільськогосподарськими агрегатами необхідно розробити математичні моделі які б враховували усі основні показники та були представлені у вигляді динамічних систем. Математичні моделі динамічних систем можуть бути побудовані у різних формах.

**Результати досліджень.** У землеробській механіці розрізняють три види моделей – фізичні, розрахункові і математичні. Перші описують явища і процеси у відповідності до їх фізичної природи. Розрахункова модель передбачає використання сучасних методів математики і обчислювальної техніки. Математичні моделі дають змогу аналітично представити можливості агрегатів, які вони описують. Рух мобільного сільськогосподарського агрегату, як динамічної системи може бути керованим і протягом певного часу некерованим. У зв'язку з цим під час розрахунку і конструювання, а також випробуваннях і дослідженнях сільськогосподарські агрегати повинні розглядатись як керовані динамічні системи, що складаються із цілого ряду взаємозамінних підсистем. Модель агрегату можна розглядати у вигляді розрахункової схеми, яка б найбільш повно відображала реальні умови функціонування агрегату. В процесі реалізації керованого руху поведінка динамічної системи залежить від кількості керуючих функцій  $U_1(t) \dots U_k(t)$ . Припустимо також, що мобільний сільськогосподарський агрегат визначається однозначно, якщо задана вектор-функція керування  $U(t) = (U_1(t), \dots, U_k(t))$  і початковий стан системи  $x_0 = x(t_0) = (x_1(t_0), \dots, x_n(t_0))$ , де  $t_0$  – початковий час.

Для опису МСА, як динамічної системи, скористаємось математичною моделлю яку запишемо у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь, записаних у нормальній формі Коши:

$$\frac{dx}{dt} = F(x, U), \quad (1)$$

де:  $x = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $U = (U_1, \dots, U_k)$ ,  $F(x, U) = (F_1(x, U), \dots, F_n(x, U))$  – відома вектор-функція.

До системи вигляду (1) частіше за всіх приводяться математичні моделі динамічних систем з безперервним перебігом часу. Наприклад, якщо поведінка динамічної системи (МСА) описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних та відбувається у просторі і часі, то, проводячи дискретизацію за простором приходимо до системи звичайних диференціальних рівнянь подібних (1), розв'язок яких проводиться як функція часу. На рис.1 зображено динаміку вектора-функції, як кута відхилення руху МСА при виконанні агротехнічних операцій, від функції часу, із зміною напрямку згідно записаного

диференціального рівняння (1). Якщо поєднати кінцеві точки вектора-функції, то ми отримаємо графік кута відхилення напрямку руху агрегату, тоб-то побудуємо годограф кута.

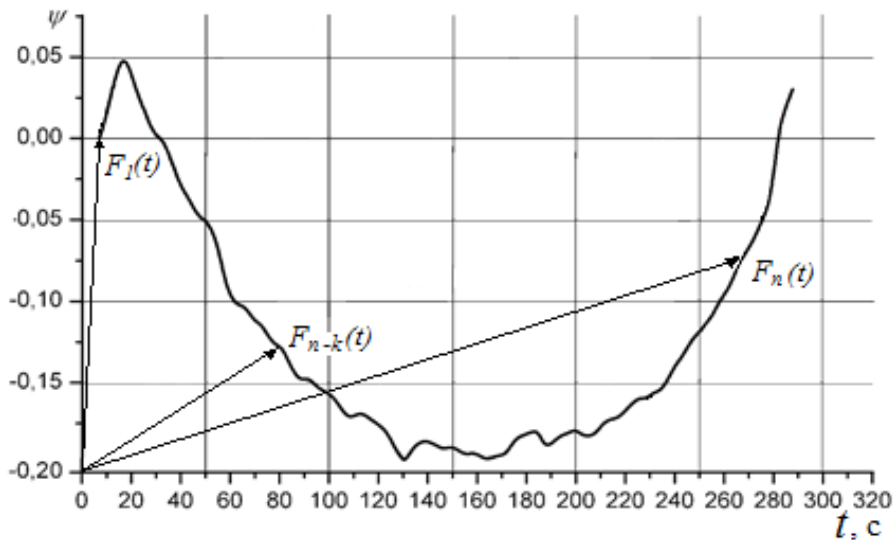


Рис. 1. Графік кута відхилення напрямку руху МСА як функція часу.

Наведене на початку припущення щодо однозначності процесу керування згідно рівняння (1) визначається умовами теореми про існування і єдиність розв'язку звичайних систем у формі Коши.

Для вирішення задачі оптимального управління системою (1) зробимо припущення. У початковий момент  $t_0$  динамічна система (1) знаходиться у стані  $x_0$ , необхідно визначити такий керуючий сигнал  $U(t)$ , який забезпечить перехід системи до заданого кінцевого стану  $x_T = x(T)$  (відрізняється від початкового), де  $T \leq \infty$  – кінцевий час. Зазвичай необхідно, щоб перехід з точки  $x_0$  до точки  $x_T$  (перехідний процес) був у певному сенсі найкращим серед усіх можливих. У нашому випадку, коли ми розглядаємо динамічну систему (МСА), перехідний процес повинен задовольняти умові мінімуму часу переходу з одного стану до іншого, або умові мінімальної витрати енергії. Такий найкращий перехідний процес прийнято називати оптимальним процесом. Ми забезпечимо, у такому випадку, на керування динамічною системою найменші витрати часу або енергії.

МСА, що рухається, є автономною динамічною системою, основні зовнішні впливи на яку призводять до зміни кількості енергії, що використовується на переміщення. Ці дії, як правило, викликають зміну швидкості поступального руху агрегату, що характеризується рівнянням:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_0 - \sum P_c}{m_{az}}, \quad (2)$$

де:  $P_o$  – рушійна сила агрегату (дотична сила тяги трактора);  $\sum P_c$  – сума всіх сил опору руху агрегату;  $m_{az}$  – приведена до поступально-рухомих частин маса агрегату.

У рівнянні (2) з достатнім наближенням можна прийняти постійною приведену масу агрегату ( $m_{az} - const$ ). Сили опору руху агрегату в процесі роботи залежать від факторів, багато з яких є змінними величинами, наприклад стан ґрунту і рельєф місцевості, глибина обробки, швидкісний режим і т.д. У відповідності до зміни сил опору змінюється і рушійна сила агрегату. Це призводить до того, що  $dv/dt$  (прискорення) в процесі виконанні агрегатом певного технологічного процесу постійно змінюється як за величиною, так і за знаком. Запропонованим рівнянням описується перехідний процес у якому ми можемо обирати оптимальне керування системою. Параметр, який в певній мірі, забезпечує ефективне керування і може слугувати показником ефективності перехідного процесу динамічної системи є прискорення.

Реальний рух МСА, як динамічної системи, відрізняється від ідеального руху за визначеною траєкторією. Для контролю динаміки прискорень був розроблений вимірювально-реєстраційний комплекс, який дозволяє контролювати зміну прискорень (рис. 2) в режимі on-line, у трьох площинах за допомогою трьохкоординатних датчиків-акселерометрів. На графіку зображено динаміку бічних прискорень ґрунтообробного агрегату – трактора МТЗ-80+ПЛН 3-35.

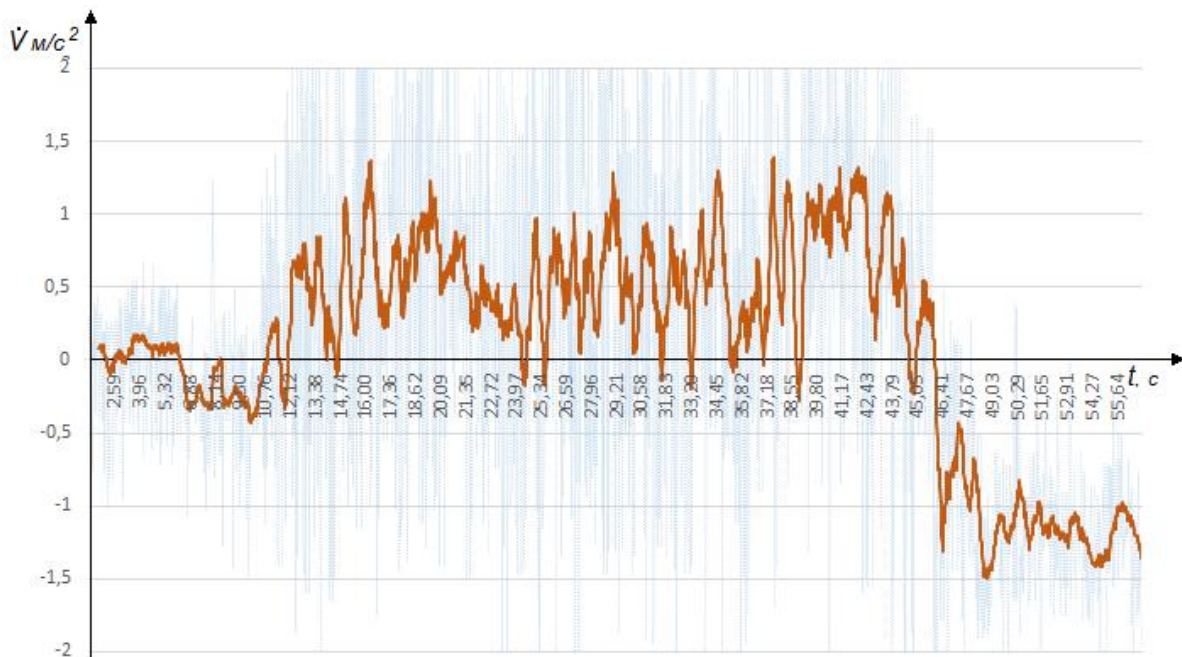


Рис. 2. Графік динаміки бічних прискорень виміряний за допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу: 1 – масив вимірених даних; 2 – відфільтрований сигнал.

Якщо прийняти до уваги метод [6] про виникнення парціального прискорення від дії кожної окремої сили, у цьому випадку рух МСА записується за допомогою парціальних прискорень у вигляді:

$$\ddot{x} = \ddot{x}_T + \ddot{x}_K + \ddot{x}_R, \quad (3)$$

де:  $\ddot{x}_T$  – є парціальним прискоренням, що виникає в процесі розгону МСА при відсутності будь яких сил окрім сили тяги  $P$ ;  $\ddot{x}_K$  – парціальне прискорення трактора під дією тільки сили опору коченню на колесах трактора;  $\ddot{x}_R$  – парціальне прискорення МСА під дією сил опору сільськогосподарського знаряддя.

При наявності вимірювального комплексу, який забезпечує вимірювання, реєстрацію і обробку бокових прискорень агрегату, це дозволяє використовувати метод парціальних прискорень. При переході системи з одного стану до іншого відбувається зміна прискорень і кута напрямку руху агрегату. В процесі дослідження лінійних моделей руху мобільних агрегатів було встановлено, що їх рух, з деякими обмеженнями, можна представити таким, що складається з двох не пов'язаних рухів: поздовжнього і бокового, при цьому поздовжній рух визначається коливаннями агрегату у поздовжньо-вертикальній площині, а боковий – у горизонтальній площині. Система рівнянь компонент парціальних прискорень може бути записана, лінеаризована і представлена, як система, що описує збурений рух у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta a_x &= -\Delta_2 \ddot{\psi}_1 + \Delta_1 \dot{\psi}_1^2 \\ \Delta a_y &= -\Delta_1 \ddot{\psi}_1 - \Delta_2 \dot{\psi}_1^2 \end{aligned} \quad (4)$$

для розв'язку системи рівнянь введені позначення  $\Delta a_x = a_{x1} - a_{x2}$ ;  $\Delta a_y = a_{y1} - a_{y2}$ ;  $\Delta_1 = \rho_2 \cos \alpha_2 - \rho_1 \cos \alpha_1$ ;  $\Delta_2 = \rho_2 \sin \alpha_2 + \rho_1 \sin \alpha_1$ . Деякі складові є відомими, а інші визначаються через експериментально виміряні компоненти прискорень  $a_{x1}, a_{y1}, a_{x2}, a_{y2}$ .

При складанні рівняння (4) припускалось, що  $\sin \psi_1 \approx \psi_1$ ,  $\cos \psi_1 \approx 1$ , Початкове вирішення зазначеної проблеми розглянуто при дослідженні МСА, як двохмасової моделі (трактор і сільськогосподарське ґрунтообробне знаряддя), динамічної системи з чотирма ступенями свободи [6]. Для вирішення поставленої задачі скористаємось динамічною моделлю, яка була розглянута в роботі [6] і визначимо динаміку сил, що діють на агрегат в горизонтальній площині і забезпечують зміну напрямку руху агрегату. На основі загальних теорем кінематики плоскопаралельного руху абсолютно твердого тіла [7], отримаємо наступні залежності курсового кута  $\psi_1$  трактора з компонентами прискорень в точках  $M_1$  і  $M_2$  на основі (4).

$$\begin{aligned}
\Delta a_x &= \psi_1'' [\rho_2 \sin(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \sin(\psi_1 + \alpha_1)] + \\
&+ \dot{\psi}_1^2 [\rho_2 \cos(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \cos(\psi_1 + \alpha_1)], \\
\Delta a_y &= \psi_1'' [\rho_1 \cos(\psi_1 + \alpha_1) - \rho_2 \cos(\psi_1 + \alpha_2)] + \\
&+ \dot{\psi}_1 [\rho_2 \sin(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_1 \sin(\psi_1 + \alpha_1)],
\end{aligned}
\tag{5}$$

Після ряду перетворень системи (5) отримаємо диференціальне рівняння для курсового кута трактора:

$$\psi_1'' = \sqrt{\frac{\Delta a_x^2 + \Delta a_y^2}{\Delta}} \sin(\psi_1 - \varphi),
\tag{6}$$

де:  $\Delta = \Delta_1^2 + \Delta_2^2$ ,  $\varphi = \arctg \left( \frac{\Delta_1 \Delta a_x + \Delta_2 \Delta a_y}{\Delta_1 \Delta a_y - \Delta_2 \Delta a_x} \right)$ .

Вираз (6) є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку. При використанні стандартних чисельних методів легко отримати його вирішення. Такий підхід дає можливість в процесі руху МТА контролювати зміни  $\psi(t)$  від заданого напрямку та оцінювати стійкість і керованість агрегату.

Рівняння записані з урахуванням відхилень допомагають в розумінні теорії керування мобільним сільськогосподарським агрегатом. Посилаючись на записані рівняння вирішується задача оптимізації, яка має практичне значення.

### Висновки

За результатами випробувань доведено, запропонований підхід для дослідження керованості і стійкості руху МСА, представленого у вигляді динамічної системи, яка моделює рух МСА, можливо використовувати для оптимізації процесу керування. Експериментальну методика можливо використовувати для визначення кутів відхилення агрегату в процесі його роботи та вчасно забезпечувати оптимізацію параметрів керування.

Отримані результати контролю динаміки прискорень, під час перехідного процесу в роботі агрегату, можуть бути використані при моделюванні параметрів керування в роботі ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів.

### Список літератури

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений. Т. 2 / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 240 с.
2. Василенко П. М. Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение / П. М. Василенко. – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 14 с.
3. Погорілий Л. В. Мобільна сільськогосподарська енергетика: історія, тенденції розвитку, прогноз / Л. В. Погорілий, В. Г. Євтенко. – К.: Фенікс, 2005. – 184 с.
4. Кутьков Г. М. Выбор рациональной схемы агрегатирования мобильного энергетического средства с плугом / Г. М. Кутьков, Е. В. Габай, В. И. Кали-

новский, И. И. Кандрусев, В. Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 3. – С. 21–23.

5. Кутьков Г. М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств / Г. М. Кутьков. – М.: Изд-во МИИСП, 1993. – 151 с.

6. Артьомов М. П. Математична модель машинно-тракторного агрегату з використанням метода парціальних прискорень / М. П. Артьомов // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 11, т.1(65). – С. 34–40.

7. Ляпунов А. М. Лекции по теоретической механике / А. М. Ляпунов. – К.: Наукова думка, 1982. – 362 с.

*В статье предложен теоретический подход для исследования управляемости и устойчивости движения мобильного сельскохозяйственного агрегата, представленного в виде динамической системы, моделирующей его движение, который используют для оптимизации процесса управления. Экспериментальную методику используем для определения углов отклонения агрегата в процессе его работы и своевременного обеспечения оптимизации параметров управления.*

***Динамическая система, параметры, моделирование, мобильный сельскохозяйственный агрегат, управление.***

*The article suggests theoretical approach to the study of controllability and stability of the motion of mobile agricultural units, presented in the form of a dynamic system, which simulates its movement used to optimize the management process. We use experimental methods to determine the angles of deflection of the machine during operation and timely provision of optimizing the control parameters.*

***Dynamic system parameters modeling, mobile agricultural units, management.***

УДК 631.313.02

## **УМОВИ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТРИБОСИСТЕМИ «РОБОЧИЙ ОРГАН – ҐРУНТ»**

***С. М. Герук, кандидат технічних наук  
Національний науковий центр «Інститут механізації  
та електрифікації сільського господарства»  
К. В. Борак, кандидат технічних наук  
В. Г. Руденко, магістр  
Житомирський агротехнічний коледж***

© С. М. Герук, К. В. Борак, В. Г. Руденко, 2015

*В роботі представлено умови самозагострювання (самоорганізації) лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин та встановлено 5 умов для самозагострювання дискових робочих органів ґрунтообробних машин.*

***Ґрунт, робочий орган, трибосистема, самозагострювання.***

**Постановка проблеми.** В процесі різання ґрунту дисковими робочими органами лезо входить в ґрунт при великому питомому навантаженні на ріжучу кромку. При таких умовах роботи відбувається швидке затуплення лез робочих органів, в результаті чого машина швидко втрачає працездатність.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженнями автором [1] встановлено 4 умови самозагострювання (самоорганізації) робочих органів ґрунтообробних машин:

1. Радіус затуплення  $R_k$  ріжучої кромки в процесі роботи леза не повинен перевищувати допустимого  $R_d$ , обумовленого нормальним протіканням технологічного процесу різання робочої маси.

2. Товщина несучого шару  $\delta_n$  повинна бути мінімально можливою для забезпечення необхідної міцності твердого шару:

$$\delta_n = \delta_m K_n \delta, \quad (1)$$

де:  $K_n$  – коефіцієнт міцності твердого шару, який може, в залежності від властивостей ґрунту і твердого сплаву, змінюватись в широкому діапазоні (для лез наплавлених сормайтотом  $K_n = 1,0 \dots 1,8$ ).

3. Твердість зносостійкого шару  $H_m$  повинна бути у відповідному співвідношенні з твердістю несучого шару:

$$H_m = K H_n, \quad (2)$$

де:  $K$  – коефіцієнт, який залежить від абразивних властивостей ґрунту ( $K = 1,2 \dots 2,8$ ).

4. Зміцненню, як правило, повинна підлягати та грань леза, яка піддається найменшому зношенню. Якщо ця умова не буде виконуватись то інтенсивність зношування твердого і м'якого шару вирівнюється, що неминуче призведе до затуплення леза. В деяких випадках зміцнення проводять з іншої сторони леза для використання на супіщаних і піщаних ґрунтах.

В роботі [2] висловлюються сумніви, що до коректності формулювання 4-ої умови самозагострювання. В США та Канаді в деяких ґрунтово-кліматичних зонах (супіщані та піщані ґрунти) застосовують наплавку на поверхню, яка інтенсивніше зношується [1].

Чотири умови самозагострювання автором [1] були встановлені в результаті дослідження процесу зношування лемешів та лап культиваторів. Виходячи з цього, необхідно провести дослідження процесу зношування дискових робочих органів для уточнення умов самозагострювання.



**Мета досліджень** – обґрунтувати умови самозагострювання робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь

**Результати досліджень.** Як зазначалося вище, в дослідженнях В. М. Ткачова [1] встановлено 4 умови самозагострювання лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин. В подальших дослідженнях [3] висловлювалися сумніви, щодо коректності 4 умови самозагострювання, оскільки 4 умови розглядають не всі фактори, які впливають на виникнення ефекту самозагострювання й потребують уточнень і доповнень для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь за таких причин:

- дані дослідження проводилися на робочих органах, де швидкість переміщення в абразивній масі змінюється мало і дорівнює швидкості руху знаряддя, з якою вона співпадає за напрямком, (леміш, лапа культиватора) і протягом всього періоду зношування розподіл навантаження носить стаціонарний характер;

- не враховано можливість зміни виду зношування (з абразивного на ударно-абразивне та ударно-втомлювальне);

- інтенсивність зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь на порядок менша за інтенсивність зношування лемішно-лапових робочих органів;

- кут кришіння в робочих органах дискових ґрунтообробних знаряддях у декілька разів більший, ніж у лемішно-лапових робочих органах;

- не взято до уваги вплив сторони й кута загострення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь на інтенсивність зношування.

Отже 4 умови самозагострювання, запропоновані В. М. Ткачовим [1], не повністю розкривають природу формоутворення лез робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Проведений аналіз умов самозагострення свідчить, що 2 і 3 умова не викликають сумнівів, а 1 та 4 потребують уточнень і доповнень.

Так 1 умова самозагострювання стверджує, що радіус заокруглення  $R_k$  ріжучої крайки в процесі роботи леза не повинен перевищувати допустимого значення  $R_{k, \delta}$ , обумовленого нормальним протіканням технологічного процесу обробітку ґрунту. При цьому гранична товщина затупленого леза становить  $h \leq 2R_{k, \delta}$ . В. М. Ткачов зазначає, що товщина твердого шару біметалевого РО для задоволення 1 умови повинна відповідати  $h_m \leq 2R_{k, \delta}$  [1]. Але дане твердження, на нашу думку, справедливе тільки при виконанні 4 умови самозагострювання, тобто коли зміцненню підлягає та грань леза яка піддається найменшому впливу. Для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь виконання 4 умови взагалі неможливо. Зміцнення грані леза, яка піддається найменшому впливу, призведе до виступу тве-

рдого шару над в'язким, а оскільки в робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь досить висока ймовірність виникнення динамічних навантажень, що неминуче приведе до обломлювання зміцненої поверхні. У попередніх дослідженнях використовувався зміцнений шар однорідний за товщиною на всій поверхні, а загострення проводили зі сторони більш м'якого й менш зносостійкого матеріалу. Для досягнення ефекту самозагострювання в робочих органах дискових ґрунтообробних знарядь необхідно зміцнювати і одночасно загострювати кромку леза зі сторони більш інтенсивного зношування, тобто з зовнішньої поверхні (рис. 1).

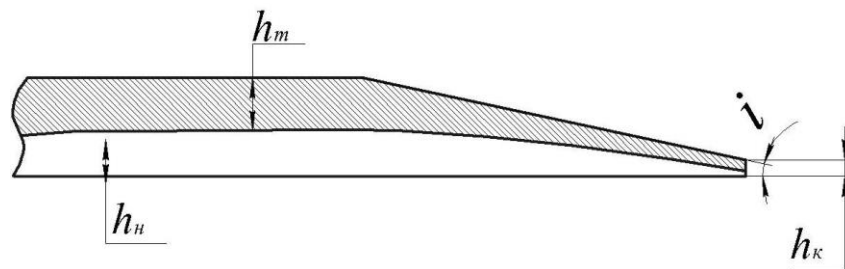


Рис. 1. Зміна товщини несучого і зміцненого шару:  $h_m$  – товщина зміцненого шару,  $h_n$  – товщина несучого шару,  $h_k$  – товщина ріжучої кромки,  $i$  – кут загострення.

Товщина зміцненого шару повинна змінюватись від крайки леза в сторону його збільшення. Товщина несучого шару повинна унеможлилювати виступання зміцненого і відповідно його обломлювання.

Співвідношення товщини зміцненого і несучого шару визначається з наступних умов: співвідношення твердості зміцненого і несучого шарів; співвідношення інтенсивності зношування сторін робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. При рівності співвідношення товщини несучого і зміцненого шару повинно дорівнювати 1:

$$H_m/H_n = I_{Vm}/I_{Vn} = 1, \quad (3)$$

де:  $H_m$  та  $H_n$  – відповідно твердість зміцненого та несучого шару;  $I_{Vm}, I_{Vn}$  – відповідно інтенсивність зношування зміцненого та несучого шару.

У реальних умовах досягти такого співвідношення досить складно, тому для визначення співвідношення товщини зміцненого і несучого шарів розглянемо інтенсивність зношування внутрішньої і зовнішньої поверхні.

У роботах М. М. Хруцова та М. А. Бабічева [6] отримано прямо пропорційну залежність між інтенсивністю об'ємного зносу й нормальним навантаженням:

$$I_v = cN, \quad (4)$$

де:  $c$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей матеріалу і стираючої властивості абразивної поверхні.

Тому для виявлення співвідношення інтенсивності зношування внутрішньої і зовнішньої сторони робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь розглянемо силову взаємодію робочого органу у процесі експлуатації з ґрунтом, прийнявши при цьому, що:

$$H_{\text{сум}}/P_{\Sigma} = I_{V_m}/I_{V_M}, \quad (5)$$

де  $P_{\Sigma}$  – сумарне навантаження на внутрішню поверхню диска;  $H_{\text{сум}}$  – сумарне навантаження на зовнішню поверхню диска яку необхідно зміцнювати.

Як показують експериментальні дослідження, співвідношення  $H_{\text{сум}}/P_{\Sigma}$  не має чіткого характеру й змінюється в широкому діапазоні залежно від умов експлуатації (твердості ґрунту, швидкості руху, радіуса кривизни, діаметру диска та ін.). Відповідно при проектуванні самозагострюючих робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь необхідно визначити початкові параметри робочих органів і умови роботи в яких буде відбуватися їх експлуатації. Як уже зазначалося вище, важливим для визначення співвідношення товщини зміцненого і несучого шарів є співвідношення їх твердості. Ураховуючи різноманіття способів зміцнення і різне співвідношення твердості несучого і зміцненого шарів необхідно намагатися зменшувати товщину несучого шару. Для досягнення ефекту самозагострення необхідно врахувати початковий кут загострення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. В роботах В. Ф. Стрельбицького [4, 5] відзначено, що для двошарового леза при куті загострення  $17^\circ$  (кут загострення однорідних серійних робочих органів) відбувалося обломлювання кромки леза через виступання твердого зміцненого шару над несучим. Для збереження початкового кута загострення необхідно загострювати зовнішню сторону робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь під кутом  $28...30^\circ$  [3]. Таким чином, уточнені нами умови самозагострення для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь зводяться до наступного:

– співвідношення товщини зміцненого і несучого шару протягом всього терміну експлуатації повинно забезпечувати таку умову: радіус затуплення повинен бути меншим допустимого радіусу, який обумовлений нормальним протіканням технологічного процесу ( $R_k < R_{k.д.}$ ). Для дискових ґрунтообробних знарядь дану умову можна реалізувати за рахунок зміни товщини зміцненого шару від крайки до основи диска, щоб урівняти знос зміцненого шару з несучим для збереження початкової форми;

– товщина несучого шару повинна бути мінімально можливою, забезпечуючи при цьому необхідне підвищення міцності зміцненого шару;

– зміцненню і загостренню повинна підлягати робоча поверхня леза, яка більш інтенсивно зношується;

– твердість зміцненого шару повинна бути у відповідному співвідношенні ((1,4...1,8):1) з твердістю несучого шару в залежності від абразивних властивостей ґрунту;

– кут загострення леза повинен складати  $i = 28^\circ \dots 30^\circ$ .

**Висновок.** Як бачимо для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь необхідно виконання 5 умов, причому друга і третя умова запропонована В. М. Ткачевим для лемішно-лапових робочих повністю справедлива і для робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь, перша умова дещо уточнена, а 4 умова обернено протилежна.

### Список літератури

1. Ткачев В. Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 336 с.
2. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 / Бобрицький Віталій Миколайович. – Кіровоград, 2007. – 182 с.
3. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 – тертя та зношування в машинах / Борак Костянтин Вікторович. – Харків, 2013. – 217 с.
4. Стрельбицкий В. Ф. Дисковыепчвообрабатывающиемашины / В. Ф. Стрельбицкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 135 с.
5. Стрельбицкий В. Ф. Силовые характеристики рабочихоргановдисковыхплушечников и борон / В. Ф. Стрельбицкий // Тракторы и сельхозмашины. – М., 1968. – № 1. – С. 30–33.
6. Хрущов М. М. Абразивноеизнашивание / М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

*В работе представлены условия самозатачивания лемешно-лаповых рабочих органов почвообрабатывающих машин и установлено 5 условий для самозатачивания дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин.*

***Почва, рабочий орган, трибосистемы, самозатачивание.***

*The paper presents the conditions of self-sharpening plow-tine working organs of tillers and set the conditions for self-sharpening 5 disk working organs of tillers.*

***Soil, working part, tribosystem, self-sharpening.***

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОЦЕСИ РОСТУ РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ

**Г. Б. Іноземцев, доктор технічних наук  
О. В. Окушко, кандидат технічних наук**

*Наведені результати досліджень, які демонструють вплив електромагнітної енергії на активацію розвитку рослинних об'єктів.*

**Електромагнітна енергія, енергетичний ресурс, доза електромагнітної енергії, експозиція обробки, розвиток та ріст рослин.**

**Постановка проблеми.** Реалізація більшості традиційних технологій у рослинництві досягла критичних значень і фактично вичерпала свої можливості, що обумовлено рядом обставин, у т.ч. знищенням родючості ґрунтів, перенасиченням мінеральними добривами, різними техногенними забрудненнями тощо.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз стану питання та накопичений величезний експериментально-практичний матеріал переконливо свідчать про високу перспективність і значні переваги застосування електротехнологічних методів і особливо в дії на фізіологічні та біологічні процеси, в першу чергу, на стимуляцію і активацію росту рослин, що здійснюється шляхом передпосівної обробки насіння різними видами електромагнітної енергії [1].

Перспективи застосування електромагнітної енергії як альтернативи існуючим біохімічним методам визначаються не тільки її ергономічними показниками, а й високою ефективністю.

До речі, застосування електромагнітної енергії, як метода для збільшення енергії проростання різних рослин, їх зеленої маси здійснювалося вже починаючи з 17-18 століть.

Так наприклад, позитивну дію електроенергії на швидкість зростання квітів, розсади різних овочів спостерігали у Франції (абат Нолет – 1748 р., абат Бертолон – 1780 р.), які, на жаль, не змогли дати роз'яснення за результатами цих дослідів. Схожі результати було отримано шанувальниками квітів імператором Наполеоном, президентом США Бенджаміном Франкліном та ін. Вплив негативного електричного заряду на активацію біологічних об'єктів встановив у 30<sup>ти</sup> роки минулого століття відомий російський біофізик О. Чижевський, який вперше дав пояснення цьому явищу, підкреслив ефективність впливу негативно зарядженої електрики на біооб'єкт.

© Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко, 2015

Сьогодні з достатньою вірогідністю можна говорити про дію електромагнітної енергії як енергоносія на зміну енергетичного ресурсу у об'єктах рослинництва, що суттєво впливає на процеси розвитку та росту рослин. Дослідження, які були виконані нами в останні роки у напрямі отримання інформації про роль і вплив електромагнітної енергії на процеси енергообміну в об'єктах рослинного походження підтверджують ключову роль енергії активації на життєдіяльність рослинних об'єктів.

Цей ефект, в першу чергу, проявляється у стимуляції проростання насіння електромагнітною енергією у період передпосівної обробки, у період вегетації тощо.

Встановлено, що процес розвитку рослин у значній мірі визначається енергією проростання, яка для кожного біологічного об'єкта має свої конкретні параметри, тобто це підтверджує результати досліджень вчених Бельгії, Нідерландів, Росії, США, Японії, які займаються активізацією життєдіяльності різних біологічних об'єктів (насіння, розсада та ін.) із застосуванням електромагнітної енергії.

**Мета досліджень** – аналіз впливу електромагнітної енергії на активацію розвитку рослинних об'єктів.

**Результати досліджень.** Проведені нами дослідження встановили прямий зв'язок величини енергії та її дози з внутрішньою енергією рослинних об'єктів, яка закладена самою природою.

Так наприклад, встановлено, що так звані «сонцелюбові» рослини вимагають менше додаткової енергії ніж інші, що можна пояснити енергетичним ресурсом, який закладено їм на генетичному рівні. Правомірність існування такої думки отримали ряд фактичних експериментальних підтверджень і, на наш погляд, не суперечить існуючим уявленням про реакцію біооб'єктів на дію різних енергоносіїв. Отримані нами результати показують, що максимальної швидкості пророщування оброблені партії насіння (пшениця, ячмінь) та насіння овочевих культур (томати, огірки, морква) набувають при різних дозах електромагнітної енергії, яка визначається наступною формулою [2, 3]:

$$D = K_n \frac{E \cdot S \cdot t}{V}, \text{ Дж/м}^3, \quad (1)$$

де:  $K_n$  – коефіцієнт, який залежить від поглинання електромагнітної енергії різними біологічними об'єктами ( $K_n = 0,6 - 0,9$ );  $E$  – потік електромагнітної енергії, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – площа об'єкта (насіння) обробки; м<sup>2</sup>;  $t$  – тривалість обробки, с;  $V$  – об'єм обробки, м<sup>3</sup>.

Динаміка зміни довжини ростків різних рослин від дози електромагнітної енергії представлено на рис. 1. Тут треба підкреслити, що при цьому спостерігалось збільшення і зеленої маси рослин. Аналізуючи залежності на рис. 1 можна стверджувати, що для кож-

ної рослини зміна її довжини визначається дозою електромагнітної енергії, перевищення якої практично веде до загибелі рослин (криві 4, 5) або гальмуванню їх росту.

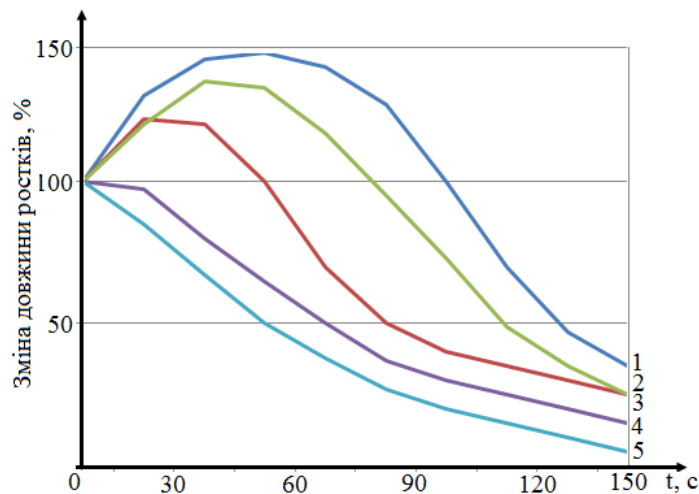


Рис. 1. Зміна довжини ростків різних рослин від дози електромагнітної енергії.

Заслуговують уваги результати по обробці насіння гороху (рис. 2), де збільшення дози практично у 2 рази зменшує швидкість пророщування насіння до 70 %. Наведені дані підтверджують існування гіпотези про залежність приросту рослинної речовини від енергії [3].

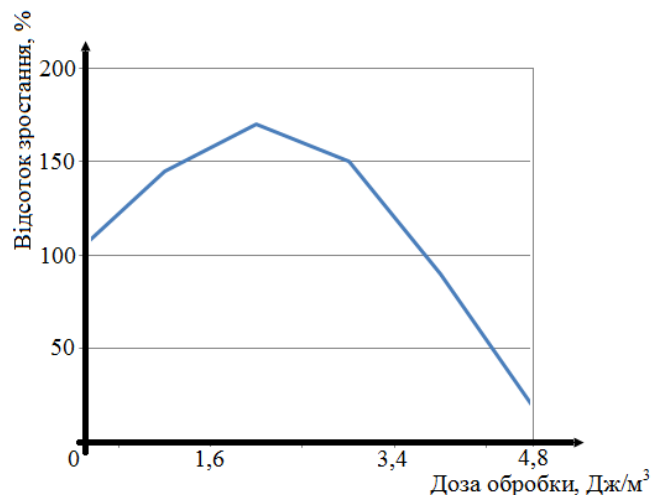


Рис. 2. Зміна росту насіння залежно від енергії (дози обробки).

Ця залежність приросту кожної рослини від дози електромагнітної енергії може являти собою модель, яка повинна враховувати природну енергію рослини та її енергетичний ресурс, який у свою чергу, обумовлює можливість його зростання шляхом додаткової обробки різними видами електромагнітної енергії. При цьому, вели-

чина енергії, доза обробки повинні враховувати природній енергетичний ресурс наданий рослині та необхідну додаткову величину, яка і буде активізувати і стимулювати процес росту рослин.

На наш погляд, тут можливий наступний підхід, суть якого полягає у залежності енергії від кількості і природи рослинної речовини ( $M$ ). Ця залежність буде мати наступний вигляд:  $M=f(t)$ , а темп зростання:  $\frac{dM}{dt} = K_n P_E$ , де  $P_E$  – енергетичний ресурс конкретної рослини.

В цьому випадку залежність (рис. 3) зростання рослинної речовини буде залежати від енергетичного ресурсу її, що являє собою природною енергію проростання ( $P_o$ ) та додаткову енергію ( $P$ ) може максимально бути отримана рослиною з метою інтенсифікації її росту та встановлення максимального часу обробки ( $t_{max}$ ) із застосуванням енергетичної енергії.

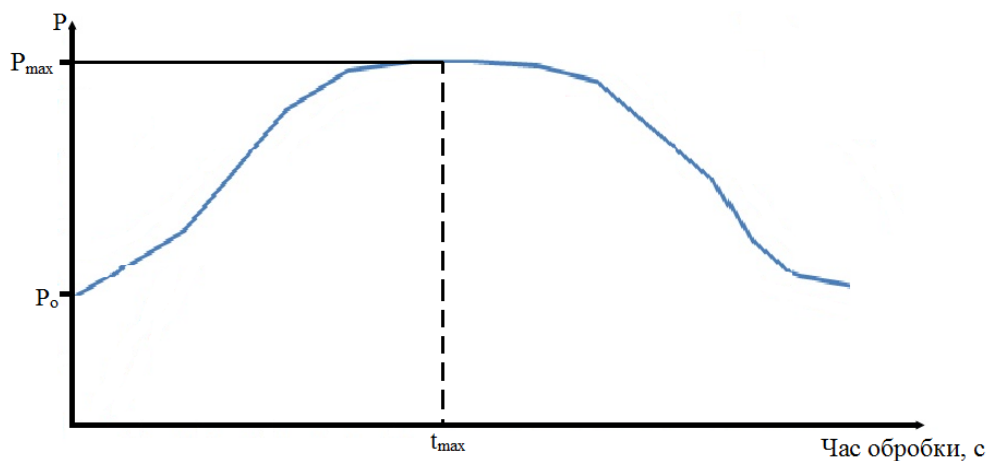


Рис. 3.

### Висновки

Наші дослідження підтверджують ефективність електромагнітної обробки насіння та розсади різних рослинних об'єктів. При цьому встановлено, що кожна рослина має свій енергетичний ресурс, примусове збільшення якого має конкретні максимальні значення і обумовлює процес розвитку рослин.

Реалізація у виробничих умовах сьогодні стримується відсутністю інформації про поведінку та процеси кількісно-якісних змін у рослинах при електромагнітній дії на них.

Реалізація результатів дослідження стримується рядом обставин, основними з яких є: відсутність достовірної і повної інформації про біоенергетичні ресурси рослин, їх «природну» картку; відсутність досліджень процесів взаємодії енергоносіїв та їх вплив на фізіологічний потенціал біооб'єктів, хоча б на рівні малих серій, відповідного електротехнологічного обладнання, в т.ч. джерел електромагнітної енергії.



## Список літератури

1. Іноземцев Г. Б. Проблеми розвитку електротехнологій в аграрному виробництві України / Г. Б. Іноземцев // Енергетика і автоматика. – 2011. – №1. – С. 12.
2. Верецагин И. П. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И. П. Верецагин. – М.: Энергия, 1974. – 480 с.
3. Іноземцев Г. Б. Науково-технічні передумови електросепарування насінневих сумішей в первинному насінництві / Г. Б. Іноземцев, В. О. Паранюк // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2007. – Т. 2, вип. 8. – С. 56–63.

*Приведенные результаты исследований, которые демонстрируют влияние электромагнитной энергии на активацию развития растительных объектов.*

***Электромагнитная энергия, энергетический ресурс, доза электромагнитной энергии, экспозиция обработки, развитие и рост растений.***

*The results of studies that demonstrate the effect of electromagnetic energy to activate the development of plant facilities.*

***Electromagnetic energy, energy resources, dose of electromagnetic energy, exposure processing, development and growth of plants.***

УДК 631.331.93:621.86.067:532.511

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ**

***В. М. Пришляк, кандидат технічних наук  
Вінницький національний аграрний університет***

*Представлена конструкція установки для виготовлення насінневих стрічок, які можуть мати практичне використання під час сівби сільськогосподарських культур на присадибних, тепличних, науково-дослідних та інших ділянках. Досліджена динаміка руху насінневих матеріалів у завантажувальних пристроях сівалок і виведені аналітичні залежності для визначення кінематичних і конструктивних параметрів розробки, а також побудовано графічні залежності руху зернин для змінних умов і режимів роботи.*

***Насінневі стрічки, зернина, динаміка руху, завантажувальні і формувальні пристрої.***

© В. М. Пришляк, 2015

**Постановка проблеми.** Проектування багатьох сільськогосподарських машин, зокрема висівних та інших апаратів сівалок неможливе без визначення кінематичних і динамічних параметрів переміщення матеріалів по робочих поверхнях машин. У висівних апаратах переміщення частинок може відбуватися як зі взаємодією з іншими елементами так і без них. Тому визначення траєкторій руху окремих частинок і параметрів їх взаємодії з поверхнями, в тому числі рухомих деталей апаратів, є важливою для вирішення науковою проблемою.

**Аналіз останніх досліджень.** Питаннями посіву зернових матеріалів, дослідження кінематичних і динамічних параметрів машин для сівки зернобобових, технічних та інших сільськогосподарських культур займались П. М. Василенко [1], Б. М. Гевко, О. Л. Лящук, Ю. Ф. Павельчук, В. М. Пришляк, І. І. Чвартацький, М. Л. Заяць, Р. І. Лотоцький [2, 3], П. М. Заїка [4], В. П. Чичкин [5], И. Э. Груздев, Р. Г. Мирзоєв, В. И. Янков [6], Герман Х. [7] та інші. Однак цілий ряд проблемних питань потребують подальших досліджень.

**Мета досліджень** – розробка установки для виготовлення насінневих матеріалів у завантажувальних пристроях сівалок з визначенням кінематичних і динамічних параметрів.

**Результати досліджень.** Установка для виготовлення насінневих стрічок (рис. 1) виконана у вигляді рами 1, на якій змонтовані всі вузли. З лівої сторони рами встановлено ліву вертикальну стійку 2, а з правого кінця – праву вертикальну стійку 3. Знизу лівої вертикальної стійки 2 на кронштейні 4, на осі 6 встановлена гофрована бухта 5 з можливістю кругового повертання. На правій вертикальній стійці 3 у верхній частині на осі 7 встановлена гладка стрічка 8 з можливістю кругового повертання. Між лівою 2 і правою 5 вертикальними стійками встановлено стрічковий конвеєр 9.

У гофрованої стрічки 5 віддаль між сусідніми виїмками 10 гофр 11 є рівною віддалі між зернинами при їх висіві у ґрунт. При її розмотуванні гофрована стрічка 5 є у взаємодії з лівим кінцем стрічкового конвеєра 9. Крім цього по ходу руху стрічкового транспортера 9, на якому встановлена гофрована стрічка 5 з насінною 12, наприклад, цукрового буряка і дозою мінерального добрива 13, яка подається з дозатора 13 відомої конструкції, який встановлено на кронштейні 14 під гофрованою стрічкою 5 над стрічковим транспортером 9. Подача мінерального добрива здійснюється в автоматичному режимі від фотоелемента 15, жорстко встановленого знизу дозатора відомим способом, а з лівого кінця над стрічковим конвеєром на кронштейні жорстко встановлено апарат з виходом зернин в гнізда сферичних виїмок. Другий апарат внесення мінеральних добрив 13 відомої конструкції встановлено на другому кронштейні по ходу руху конвеє-

рної стрічки, який працює від фотоелемента, встановленого внизу під ним. Під бухтою гладкої стрічки 8 на кронштейні 16 встановлено формувальний зубчастий інструмент 17, зуби якого розміщені рівномірно по колу, віддаль між зубами 18 дорівнює віддалі між сусідніми насінинами 12, розміщеними на нижній гофрованої стрічці. Поверх лівого кінця стрічкового конвеєра 9 жорстко на кронштейні 19 встановлено однозерновий висівний апарат 20 з насіннеукладачем 21 насінин 12 у гофровану нижню стрічку 10. З лівого кінця рами 1 встановлено привід 22, за допомогою якого здійснюється привід всіх механізмів відомим способом. Намотування насінневих стрічок з насінням здійснюється в бухту 23 на вісь 24, яка встановлена на підставках 25. Керування апаратом здійснюється з пульта керування 26.

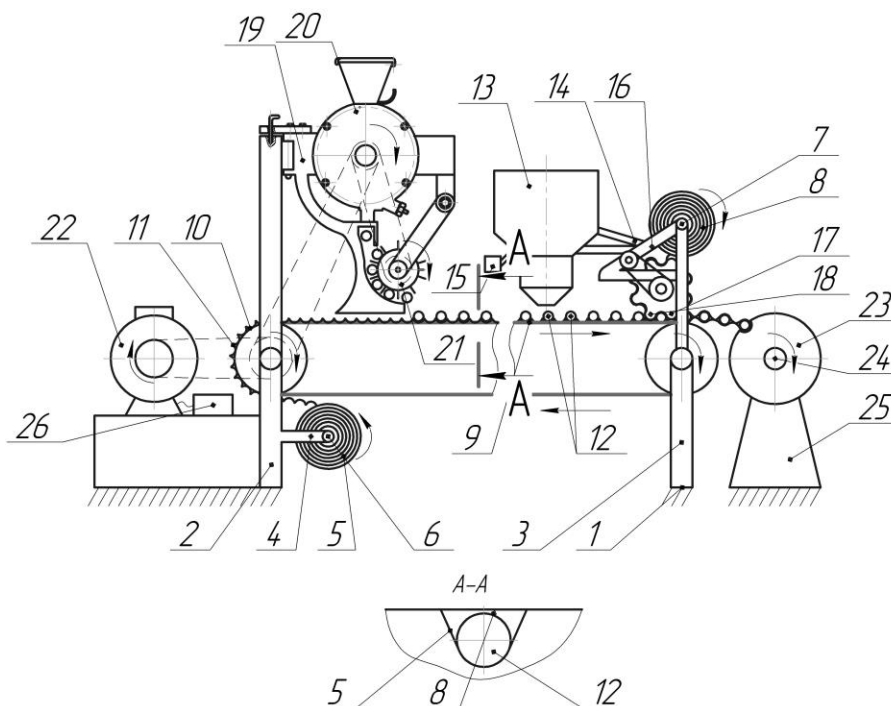


Рис. 1. Установа для виготовлення насінневих стрічок.

Робота апарата здійснюється наступним чином. Гофрована стрічка 5 розмотується і за допомогою скотчу її кінець кріпиться до стрічки стрічкового конвеєра 9. Проводиться наладка апарата, після якої встановлюють апарат на стенд і здійснюється процес склеювання насінневих стрічок з насінням. Стрічковий конвеєр 9 подає гофровану стрічку 5 під висівний апарат 20, який за допомогою насіннеукладача 21 вкладає насінини 12 у виїмки 5 гофр. При подальшому переміщенні з бухти 8 подається гладка стрічка 8, за допомогою формувального інструмента 17 і зубів 18 здійснюється склеювання гофрованої сторони з зернинами 12 з верхньою гладкою стрічкою 8, які покриті відповідною клейкою речовиною. Після чого насіннева стрічка намотується на вісь 24 в бухту 23 на підставці 25.

В процесі подачі зернових матеріалів у сівалках лопатевими робочими органами швидкість руху насінини може досягати значних величин, що може призвести до травмування насіння. Крім цього можливе травмування насіння за умов одночасного його переміщення по лопатці та циліндричній поверхні корпусу сівалки. Тому важливим є дослідити швидкість переміщення зернини та довжину канавки, по якій подається зернина. Розрахункову схему подачі насіння лопатевим робочим органом зображено на рис. 2.

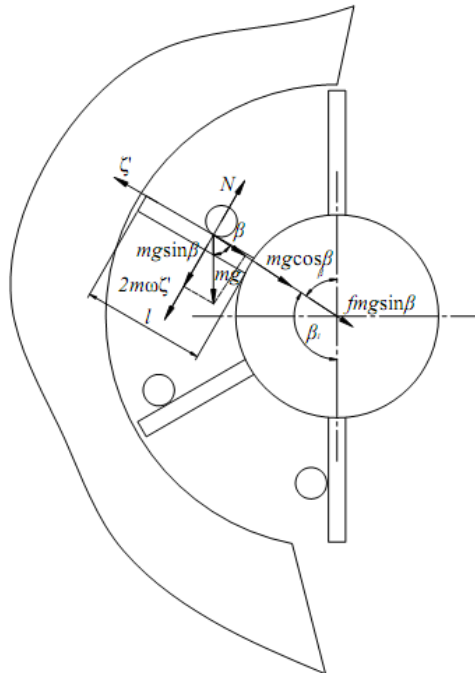


Рис. 2. Розрахункова схема подачі насіння лопатевим робочим органом в зону вивантаження.

При обертанні лопатки, зернина, яка поступила на її поверхню, буде обертатися разом з нею і переміщуватися по її поверхні. Під час повороту на певний кут  $\beta_1$  зернина буде здійснювати лише коливний рух, після повороту на кут  $\beta > \beta_1$  зернина буде переміщуватися в радіальному напрямку вздовж лопатки. При цьому на зернину діють наступні сили:

– сила ваги зернини:  $G = mg$ , де  $m$  – маса зернини, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

– відцентрова сила  $F_g = mr\omega^2$ , де  $r$  – радіус розміщення зернини, м.  $\omega$  – частота обертання лопатевого робочого органа.

– сила Коріоліса –  $F_k = 2mr\omega\xi'$ , де  $\xi$  – швидкість переміщення зернини вздовж лопатки, м/с.

– сила тертя  $F_m = f \cdot N$ , де  $f$  – коефіцієнт тертя між зерниною та поверхнею лопатки;  $N$  - нормальна реакція лопатки.

Сума проєкцій всіх сил, що діють на зернину в напрямку, перпендикулярному до поверхні лопатки:

$$N = 2m \cdot \omega \xi' + mg \cdot \sin \beta. \quad (1)$$

Сума проєкцій сил:

$$m\xi'' = r\omega^2 - mg \cos \beta - fN. \quad (2)$$

Після перетворення:

$$m\xi'' = r\omega^2 - g \cos \beta - \frac{t}{m} N. \quad (3)$$

Підставляємо формулу (1) у формулу (3):

$$m\xi'' = r\omega^2 - g \cos \beta - 2m \cdot \omega \xi' - fg \cdot \sin \beta.$$

Приймаючи до уваги те, що  $r = \zeta$  рівняння (4) запишемо наступним чином:

$$\xi'' + 2t\omega\xi' - \omega^2\xi = -g \cos \beta - tg \sin \beta. \quad (4)$$

При рівномірному обертанні лопатевого колеса:

$$\beta = \omega t. \quad (5)$$

Тому рівняння (5) запишемо наступним чином:

$$\xi'' + 2t\omega\xi' - \omega^2\xi = -g \cos \beta - tg \sin \beta. \quad (6)$$

Загальний розв'язок рівняння (7) складається з додаткової функції  $\xi_1$  та часткового розв'язку  $\xi_2$ :

$$\xi = \xi_1 + \xi_2. \quad (8)$$

Корені характеристичного рівняння додаткової функції будуть рівні [1]:

$$\lambda_1 = \omega(-t + \sqrt{1+t^2}), \quad (9)$$

$$\lambda_2 = \omega(-t - \sqrt{1+t^2}). \quad (10)$$

При цьому додаткову функцію можна представити наступним чином:

$$\zeta_1 = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}. \quad (11)$$

Часткове рішення має вигляд:

$$\zeta_2 = -A \sin \omega \cdot t - B \cos \omega \cdot t, \quad (12)$$

$$A = \frac{2fg}{2 \cdot \omega^2(1+t^2)}, \quad A = \frac{-f^2 \cdot g + g}{2 \cdot \omega^2(1+t^2)}.$$

Підставляючи значення рівняння (11) та (12) у формулу (8) одержимо:

$$\zeta = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{2fg \sin \omega t}{\omega^2(1+t^2)} - \frac{g(1-t^2) \cdot \cos \omega t}{2\omega^2(1+t^2)}. \quad (13)$$

Постійні  $c_1$  та  $c_2$  знаходимо із початкових умов: при  $t=0$ ;  $\zeta=0$ ;  $\zeta'=0$ :

$$c_1 = \frac{g \cdot \lambda_2(1-t^2) - fg \cdot \omega}{2 \cdot \omega^2(1+t^2)(\lambda_2 - \lambda_1)}, c_2 = \frac{2 \cdot fg \cdot \omega - g \cdot \lambda_1(1-t^2)}{2 \cdot \omega^2(1+t^2)(\lambda_2 - \lambda_1)}.$$

Швидкість переміщення зернини знаходимо диференціюючи рівняння (13):

$$\zeta' = c_1 \cdot \lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 t} - \frac{fg \cos \omega t}{\omega \cdot (1+t^2)} - \frac{g(1-t^2) \cdot \cos \omega t}{2\omega(1+t^2)}. \quad (14)$$

Час  $t$ , на протязі якого зернина досягає вершини лопатки:

$$t = \frac{l}{\zeta'}, \quad (15)$$

де:  $l$  – довжина лопатки, м.

Щоб забезпечити контакт зернини лише із лопаткою в межах циліндричної частинки корпусу сівалки необхідно, щоб забезпечувалась умова:

$$l \geq \frac{\beta_1}{\omega} \cdot \zeta,$$

де:  $\beta_1$  – кут повороту лопатки в межах циліндричної зони.

Також для зменшення травмування зернини необхідно, щоб виконувалась умова:

$$\zeta' \leq \zeta'_{\max},$$

де:  $\zeta'_{\max}$  – максимально допустима швидкість удару зернини, м/с.

Максимальну частоту обертання лопатевого робочого органу можна знайти із формули (14), підставивши відповідні значення.

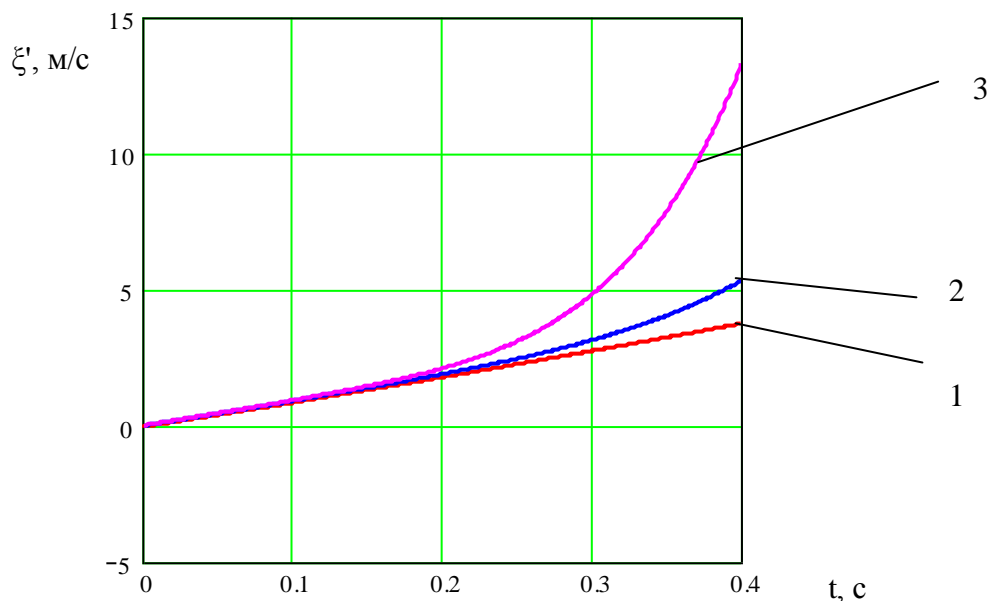


Рис. 3. Графік зміни швидкості переміщення зернини в часі  $f=0,15$ : 1 –  $\omega=4$  рад/с; 2 –  $\omega=8$  рад/с; 3 –  $\omega = 12$  рад/с.

На рис. 3 представлено графіки зміни швидкості переміщення зернини в часі, якщо коефіцієнт тертя  $f=0,15$ . На рис. 4 представлено графік переміщення зернини в часі, якщо коефіцієнт тертя  $f=0,15$ .

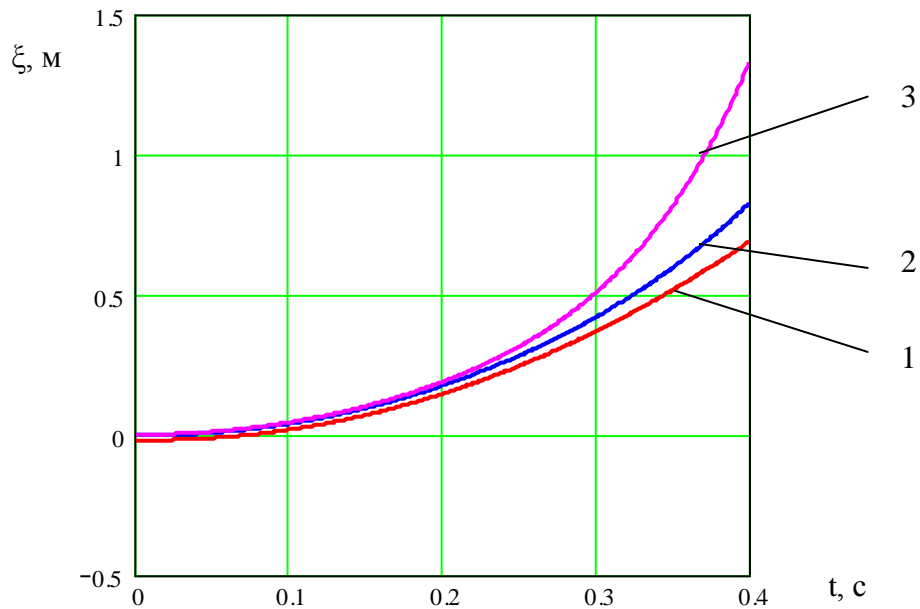


Рис. 4. Графік переміщення зернини в часі при  $f=0,15$ : 1 –  $\omega=4$  рад/с; 2 –  $\omega=8$  рад/с; 3 –  $\omega=12$  рад/с.

На рис. 5 представлено графік зміни швидкості переміщення зернини від частоти обертання лопатевого робочого органу при  $t=0,2$ с.

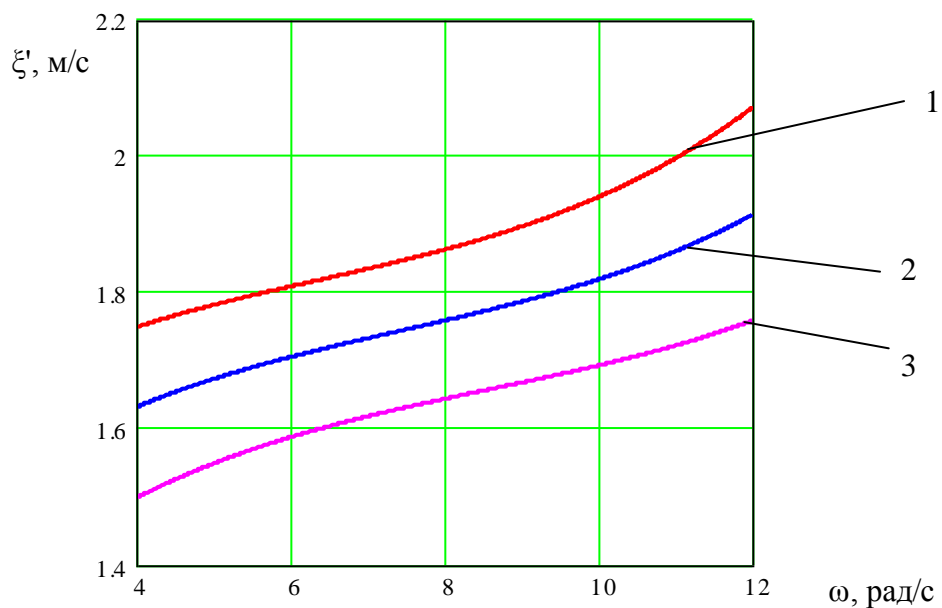


Рис. 5. Графік зміни швидкості переміщення зернини від частоти обертання лопатевого робочого органу  $t=0,2$ с: 1 –  $f=0,15$ ; 2 –  $f=0,2$ ; 3 –  $f=0,25$ .

На рис. 6 представлено графік зміни переміщення зернини від частоти обертання лопатевого робочого органу при  $t=0,2\text{с}$ .

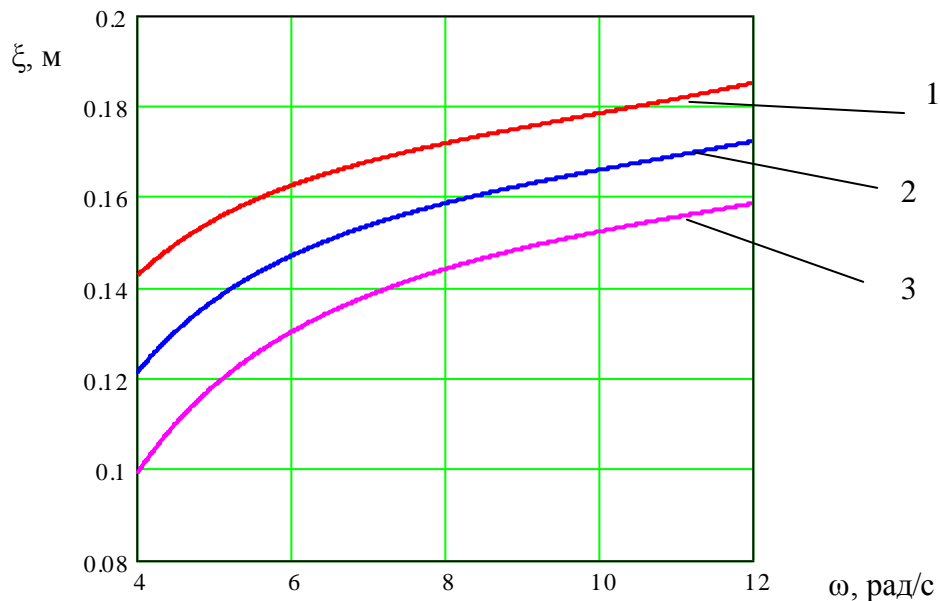


Рис. 6. Графік зміни переміщення зернини від частоти обертання лопатевого робочого органу  $t=0,2\text{с}$ : 1 –  $f=0,15$ ; 2 –  $f=0,2$ ; 3 –  $f=0,25$ .

Як видно з графіків, із збільшенням часу та кутової швидкості руху зернини її лінійна швидкість також збільшується. Рекомендується при виборі кінематичних параметрів механізмів установки для виготовлення насінневих стрічок користуватися вище приведеними графічними залежностями.

### Висновки

1. Розроблена динаміка руху насінневих матеріалів у завантажувальних пристроях сівалок і виведені аналітичні залежності для визначення кінематичних і конструктивних параметрів. В результаті розв'язування одержаних рівнянь побудовані графічні залежності руху зернин від різних змінних параметрів.

2. Запропонована конструкція установки для виготовлення насінневих стрічок може мати практичне використання під час посіву сільськогосподарських культур на присадибних, тепличних, науково-дослідних та інших ділянок.

### Список літератури

1. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: УСХА, 1960. – 284 с.
2. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин: монографія / Б. М. Гевко, О. Л. Лящук, Ю. Ф. Павельчук, В. М. Пришляк та ін. – Тернопіль: Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 238 с.



3. Гевко Б. М. Математичне моделювання руху зерна по рухомим поверхням висівних апаратів / Б. М. Гевко, Р. І. Лотоцький, В. М. Пришляк // Сільськогосподарські машини. – Вип. 26. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2013. – С. 27–35.
4. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння / П. М. Заїка. – Х.: Око, 2002. – 452 с.
5. Чичкин В. П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты. Теория, конструкция, расчет / В. П. Чичкин. – Кишинев: Житница, 1984. – 391 с.
6. Груздев И. Э. Теория шнековых устройств / И. Э. Груздев, Р. Г. Мирзоев, В. И. Янков. – Л.: ЛГУ, 1978. – 144 с.
7. Герман Х. Шнековые машины в технологии / Х. Герман / Перевод с нем. Л. Г. Веденяпиной / Под общей ред. М. Л. Фридмана. – Л.: Изд-во «Химия» Ленинградское отделение, 1975. – 280 с.

*Разработана конструкция установки для изготовления семенных лент, которые могут иметь практическое использование при посеве сельскохозяйственных культур на приусадебных, тепличных, научно-исследовательских и других участках. Исследована динамика движения семенных материалов в загрузочных устройствах сеялок и выведены аналитические зависимости для определения кинематических и конструктивных параметров разработки, при этом построены графические зависимости движения зерен для переменных условий и режимов работы.*

**Семенные ленты, зерно, динамика движения, загрузочные и формовочные устройства.**

*The construction of installations for production of seed tapes that may have practical use in sowing crops in gardens, greenhouses, research and other areas is presented. The dynamics of the movement of seed drills to boot devices and analytical dependences for determination of kinematic and structural parameters of development, with built motion graphics depending grains to changing conditions and operating modes are done in the article.*

**Seed tapes, grain, dynamic of motion, loading and molding devices.**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

***Н. П. Артемов, доктор технических наук***

***М. Л. Шуляк, кандидат технических наук***

***Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенко***

*В статье проведены результаты исследований по применению фильтра Калмана для повышения точности исследования динамических и квалиметрических параметров мобильных машин в процессе их эксплуатации и выполнении агротехнических операций.*

***Динамические и квалиметрические параметры, адаптивные фильтры, акселерометры.***

**Постановка проблемы.** Разнообразие технологических требований, которые предъявляются к машинно-тракторным агрегатам (МТА) возможно выразить следующими обобщенными показателями: производительностью и агротехническим качеством выполняемых операций, при низкой себестоимости их выполнения. Контроль над системой машин, которые являются материально-технической базой комплексной механизации производственного цикла и представляют собой совокупность нескольких МТА, машин, механизмов, которые взаимно дополняют друг друга и позволяют повысить эффективность их использования [1]. При проведении динамических испытаний МТА с использованием акселерометров возникают случайные и системные погрешности измерения линейных ускорений.

**Анализ последних исследований.** ДСТУ 3310-96 [2], а также ГОСТ Р 52302-2004 [3] предъявляют довольно жесткие требования к точности измерений при оценке устойчивости и управляемости мобильных машин в процессе дорожных испытаний. Требования к точности измерений некоторых параметров, которые можно контролировать с помощью мобильного регистрационно-измерительного комплекса на базе акселерометров [4], приведены в табл. 1. Некоторые исследователи указывают, что шум, содержащийся в выходном сигнале акселерометра, определяет разрешающую способность устройства, важную при определении малых ускорений. Предельное разрешение в основном

© Н. П. Артемов, М. Л. Шуляк, 2015

определяется уровнем шума измерения, который включает внешний фоновый шум и шум собственно датчика. Уменьшение полосы пропускания путем включения ФНЧ на выходе датчика приводит к снижению уровня шума. Это улучшает отношение сигнал/шум и увеличивает разрешающую способность, однако вносит амплитудные и фазовые частотные искажения [5].

### 1. Требования к точности измерений [2].

Измеряемые параметры, единицы измерения	Диапазон измерений	Ошибка, не более	
		абсолютных единиц	относительных единиц (%)
Скорость ДТС, км/ч	5-150	–	±0,5
Угловая скорость ДТС, градус/с	±45	±0,5	±1,0
Боковое ускорение, м/с <sup>2</sup>	±7	±0,15	±1,0
Время, с	–	±0,01	–
Температура, °С	–	±1,0	–

Если искажение сигнала является известным и инвариантным по времени, целесообразно применять традиционные методы обработки сигнала [5]. Когда искажения сигнала описать заранее невозможно или они могут меняться в процессе снятия показаний, целесообразно применять адаптивные фильтры. Обобщенная схема адаптивного фильтра приведена на рис. 1.

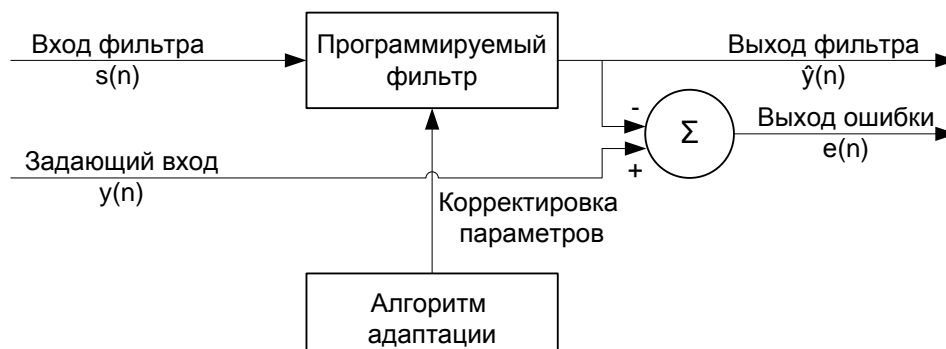


Рис. 1. Схема адаптивного фильтра [5].

Фильтры используются для пропускания сигналов в нужном диапазоне частот и ослабления сигналов вне этого диапазона. классификация фильтров в первую очередь проводится по виду амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) фильтров низких частот (ФНЧ), верхних частот (ФВЧ), полосно-пропускающего фильтра (ППФ) и полосно-заграждающего (режекторного) фильтра (ПЗФ).

**Цель исследований.** Основной задачей исследования является поиск и разработка эффективной методики фильтрации

сигналов, полученных от акселерометров контрольно-измерительного комплекса при проведении экспериментальной оценки эксплуатационных свойств мобильных машин.

**Результаты исследований.** Если рассматривать мобильную машину – МТА, как механическую систему, которая выполняет агротехническую операцию и вначале она находится в точке 0, но под действием определенных сил агрегату сообщается некоторое ускорение. В процессе работы мы проводим измерение ускорений с шагом  $\Delta t$  секунд, контролируя состояние агрегата.

Критерием оптимальности принято считать обеспечение максимума отношения сигнал-шум. Это требование приводит к выбору такой формы частотного коэффициента передачи фильтра, которая обеспечивает максимум отношения сигнал-шум на его выходе. Для получения более точной информации в решении этой задачи используем фильтр Калмана.

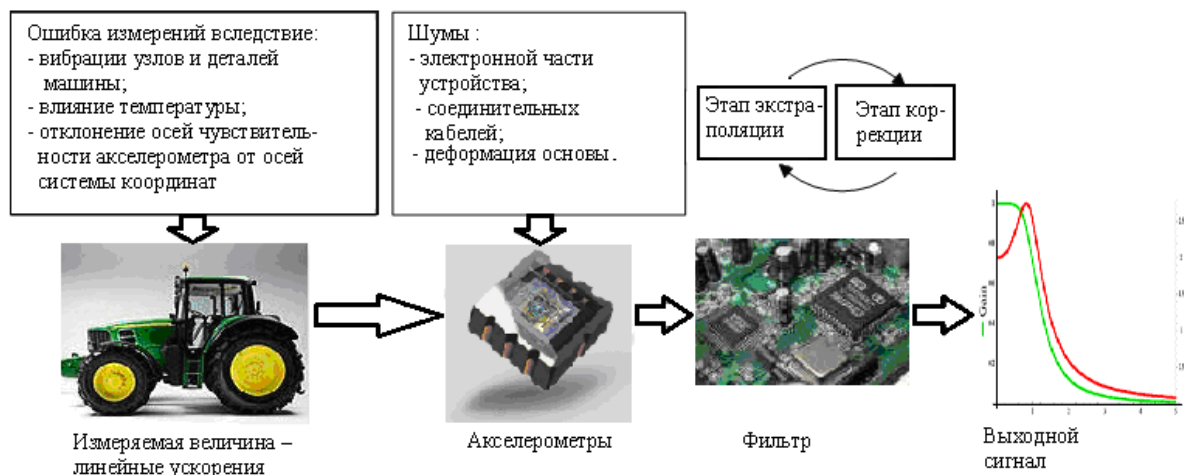


Рис. 2. Схема замера линейных ускорений МТА с использованием фильтра.

Фильтр Калмана использует динамическую модель системы (например, физический закон движения), известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: экстраполяция (предсказание) и корректировка. На первом этапе рассчитывается предсказание состояния в следующий момент времени (с учетом неточности их измерения). На втором, новая информация с датчика корректирует предсказанное значение (также с учетом неточности и зашумленности этой информации) [6].

Будем считать, что между  $t-1$ -м и  $t$ -м замерами агрегат двигается с ускорением  $\dot{V}_t$ , которое распределяется по

нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_a$ . Воспользуемся законом механики Ньютона и запишем:

$$x_t = Fx_{t-1} + G\dot{V}_t, \quad (1)$$

где:  $G$  – случайные воздействия на агрегат.

Ковариационная матрица случайных воздействий в процессе работы агрегата может быть записана в виде:

$$Q = \text{cov}(G\dot{V}) = E[(G\dot{V})(G\dot{V})^T] = GE[\dot{V}^2]G^T = G[\sigma_a^2]G^T = \sigma_a^2 GG^T, \quad (2)$$

где:  $E$  – математическое ожидание;  $\sigma_a$  – скаляр.

На каждом этапе работы проводятся замеры состояния агрегата и если допустить, что ошибка измерений  $\mu_t$  отвечает ранее высказанным требованиям, то ковариационная матрица шума измерений будет иметь вид [7]:

$$R = E[\mu_t \mu_t^T] = [\sigma_a^2]. \quad (3)$$

При использовании фильтра Калмана его алгоритм имеет определенные сложности с расчетной реализацией, поэтому лучше использовать разработанное программное обеспечение Visual Kalman Filter компании HAN Software [8].

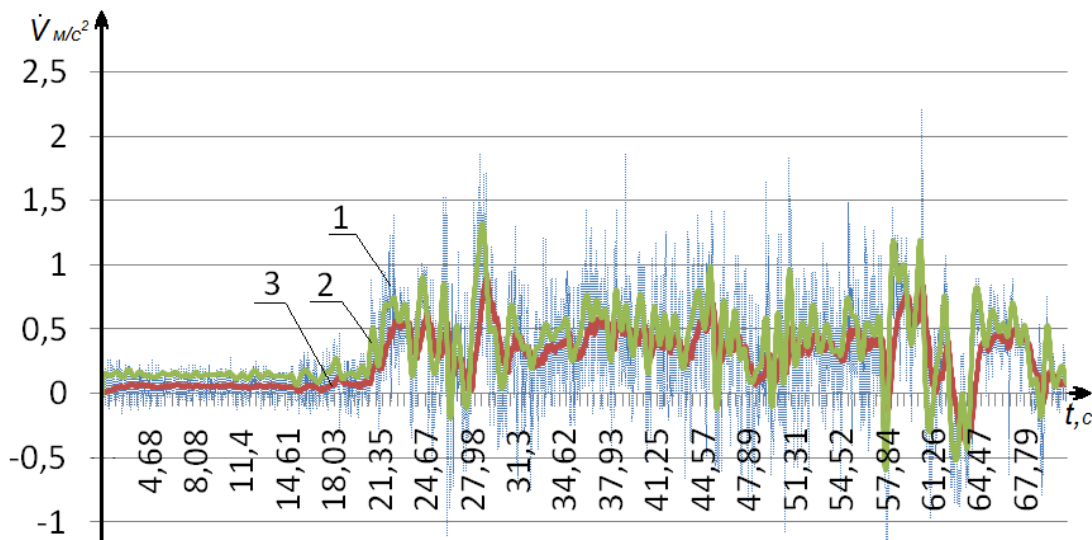


Рис. 3. Изменение ускорений  $\dot{V}$  при различных режимах движения агрегата МТЗ-80+ПЛН-3-35 (удельное сопротивление почвы 9,5кН/м): 1 – массив данных не прошедших фильтр; 2 – сигнал, прошедший фильтр Баттерворта; 3 – сигнал, прошедший фильтр Калмана.

Проанализировав результаты по рис.3 приходим к выводу, что определение ускорений мобильного агрегата без использования фильтрации, в некоторых случаях дает рассеивание результата от 0,1м/с<sup>2</sup> до 0,8м/с<sup>2</sup>.

Проведенная фильтрация с помощью ФНЧ результатов испытаний трактора МТЗ-80, по методике, предназначенной для автомобильного транспорта, позволила повысить точность экспериментальной оценки эксплуатационных свойств.

**Вывод.** Использование мобильного регистрационно-измерительного комплекса на базе акселерометров MMA7260QT с программным обеспечением Visual Kalman Filter позволяет минимизировать дисперсию полученных сигналов. За счет сглаживания шумов разной физической природы достигается повышение точности экспериментальной оценки эксплуатационных характеристик машинно-тракторных агрегатов. Использование предложенного фильтра в исследованиях практически не влияет на среднее значение сигнала. Это дает возможность реализовывать возможности влияния на управляемость и устойчивость агрегатов.

### Список литературы

1. Горячкин В. П. Теория массы и скоростей сельскохозяйственных прицепов / В. П. Горячкин. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
2. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи вивчення основних параметрів випробуваннями : ДСТУ 3310-96. – [Чинний від 01.01.1997]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 13 с. – (Національні стандарти України).
3. *Автотранспортные средства*. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний : ГОСТ Р 52302-2004. – [Дата введения в действие 01.01.2006]. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2005. – 56 с. – (Национальный стандарт РФ).
4. *Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин* / [Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало, А. С. Полянский, Д. М. Клец, А. И. Коробко, В. В. Задорожня]. – Х.: Міськдрук, 2012. – 220 с.
5. Коуэн К. Ф. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / Под ред. К. Ф. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
6. Раевский Н. В. Применение алгоритма классического линейного фильтра Калмана для оценки параметров движения маневрирующего в пространстве объекта / Н. В. Раевский, А. А. Киселёва, М. В. Лютая // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2. – С. 85–90.
7. Grewal M. Kalman filtering theory and practice using Matlab / M. Grewal, A. Andrews // Second edition. – New York: Wiley, 2001. – 410 p.
8. *Design Kalman Filter with ease!* [Електронний ресурс]: HAN Software – Режим доступу : <http://www.luckhan.com/kalman-filter-design.htm>.

*В статье проведены результаты исследований по применению фильтра Калмана для повышения точности исследования динамических и кваліметрических параметров мобильных машин в процессе их эксплуатации и выполнении агротехнических операций.*

**Динамические и кваліметрические параметры, адаптивные фильтры, акселерометры.**

*The paper investigated on the application of the Kalman filter to enhance the quality the study of the dynamics of mobile machines during their exploitation and implementation of farming operations.*

***Dynamic and qualitative parameters, adaptive filters, accelerometers.***

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

## **ГЛИБИНА ТА МІКРОТВЕРДІСТЬ ЗМІЦНЕНОГО ЛАЗЕРОМ ШАРУ СТАЛІ 65Г ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН**

***Ю. О. Ковальчук, В. В. Дідур, А. В. Невзоров,  
кандидати технічних наук  
Уманський національний університет садівництва***

*Проаналізовано, який тип сталі виробники робочих органів ґрунтообробних машин використовують в Україні. Досліджено властивості даної сталі внаслідок лазерного зміцнення та доцільність застосування для ще більшого підвищення зносостійкості відповідних знарядь різних додаткових заходів з метою забезпечення ефективного впровадження методу поверхневої лазерної обробки у виробництво.*

***Метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, наплавлення, зносостійкі твердосплавні порошки, сталь 65Г, робочі органи ґрунтообробних знарядь.***

**Постановка проблеми.** Перед виробниками ґрунтообробних машин однією із першочергових задач стоїть забезпечення вищої міцності тих зон робочих органів, які найбільше піддаються зносу. В результаті абразивного зношування робочих поверхонь відбувається втрата первинної форми різальних елементів, що призводить до збільшення тягового опору ґрунтообробних машин та витрат паливно-мастильних матеріалів. Також виникає потреба в заточуванні або заміні зіпсованих деталей.

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин може успішно застосовуватися метод поверхневої лазерної обробки. Стоїть задача аналізу лазерного впливу на характеристики сталі, що використовується в Україні відповідними виробниками для виготовлення таких робочих органів, як лемешів плугів, дисків борін, лап культиваторів тощо. Також треба дослідити можливість застосування

© Ю. О. Ковальчук, В. В. Дідур, А. В. Невзоров, 2015

методу поверхневої лазерної обробки на практиці для підвищення зносостійкості виробів із даної сталі.

**Аналіз останніх досліджень.** Вивченням питань впливу лазерного випромінювання на поверхню різних матеріалів останні роки у своїх працях займалися такі вчені та науковці, як В. П. Вейко, О. Г. Григор'янц, І. М. Шиганов та інші [6-8]. Останні роки публікацій на тему застосування методу поверхневої лазерної обробки для зміцнення деталей сільськогосподарської техніки не так багато [1-5]. Сучасних публікацій стосовно лазерного зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь серед них ще менше, з них можна виділити наукові праці В. П. Бірюкова, В. В. Дивинського, В. М. Журавля, В. М. Бобрицького та інших [1-4].

**Мета досліджень** – визначення типу сталі, що використовується в Україні виробниками робочих органів ґрунтообробних машин, дослідження глибини та мікротвердості зміцненого лазером шару відповідної сталі та можливість успішного застосування на виробництві методу поверхневої лазерної обробки для підвищення зносостійкості даних робочих органів.

**Результати досліджень.** Метод поверхневої лазерної обробки на даний момент ще не знайшов свого застосування в нашій країні під час виробництва робочих органів ґрунтообробних машин.

В результаті проведеного дослідження шляхом опитування виявилось, що для виготовлення даних робочих органів такі вітчизняні виробники, як ВАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград), ТОВ НВП «БілоцерківМАЗ» (м. Біла Церква), ПАТ «Уманьферммаш» (м. Умань), ПП ВКФ «Велес-Агро» (м. Одеса) та інші, в абсолютній більшості випадків використовують сталь 65Г. Тому дослідження властивостей цієї сталі після лазерного зміцнення є актуальним та дозволить визначити можливість застосування на виробництві даного методу поверхневої лазерної обробки. Враховуючи те, що лазерне зміцнення сталі забезпечить тим вищу твердість матеріалу, чим більший вміст у сталі вуглецю, необхідно відмітити, що застосування лазерної поверхневої обробки сталі 65Г є більш ефективним, ніж інших сталей з меншим вмістом вуглецю.

Глибина зміцненого шару робочих органів ґрунтообробних машин є важливим фактором у процесі зношування поверхонь та для реалізації умов самозагострювання.

Найбільшу мікротвердість за глибиною зміцненого шару внаслідок застосування лазерного зміцнення серед сталей 45, Л53 та 65Г має сталь 65Г, тому що, як було сказано вище, в ній найбільше міститься вуглецю (рис. 1) [4].

Під час проведення дослідницької роботи з лазерного наплавлення матеріалів на ґрунтообробні знаряддя зі сталі 65Г для просторо-



вого керування лазерним променем використовувався сканер [2]. На поверхню дослідних зразків наносилася обмазка на водяній основі оксиетилцелюлози з порошком ФБХ6-2. Середня твердість матеріалу основи дослідних зразків становила 2200 МПа.

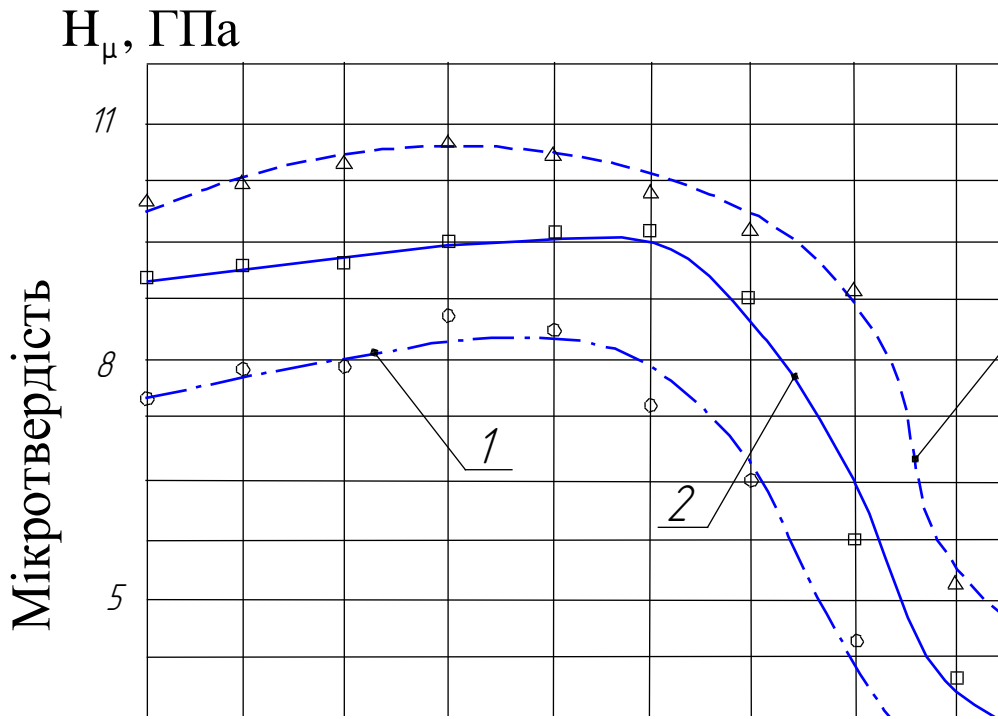


Рис. 1. Розподіл мікротвердості в сталях після лазерного зміцнення за глибиною зміцненого шару: 1 – сталь 45, 2 – сталь Л53, 3 – сталь 65Г ( $q = 8 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau = 0,3$  с).

Лазерний промінь потужністю 1400 Вт з частотою сканування 200–225 Гц призвів до утворення на поверхні зразка № 1 видозміненого шару, геометричні параметри якого визначаються зоною термічного впливу шириною 7 мм при глибині 1,1 мм, шириною легованого шару 4,5 мм. Глибина зони загартування із твердого стану становила 0,6 мм, а легованого шару – 0,3 мм. Також при цьому присутній невеликий шар наплавленого порошку товщиною 0,2–0,3 мм. Геометричні параметри зони термічного впливу для зразка № 2 склали: ширина зони – 8,1 мм, ширина легованого шару – 5 мм, загальна глибина зон загартування, легування й наплавлення – 1,35 мм, у тому числі легованого шару – 0,5 мм і наплавленого шару 0,3–0,35 мм. На рис. 2 наведені результати дослідження їхньої мікротвердості [2]. У зразку № 2 мав місце більш глибокий переплав, тому швидкість охолодження матеріалу була нижча, що вплинуло на зменшення мікротвердості. У результаті обробки за першим режимом (зразок № 1) спостерігалась незначна зміна геометричних розмірів. Це важливо для практичної обробки деталей, оскільки при наплав-

ленні ріжучої кромки ґрунтообробних знарядь геометрія робочої поверхні не повинна змінюватися.

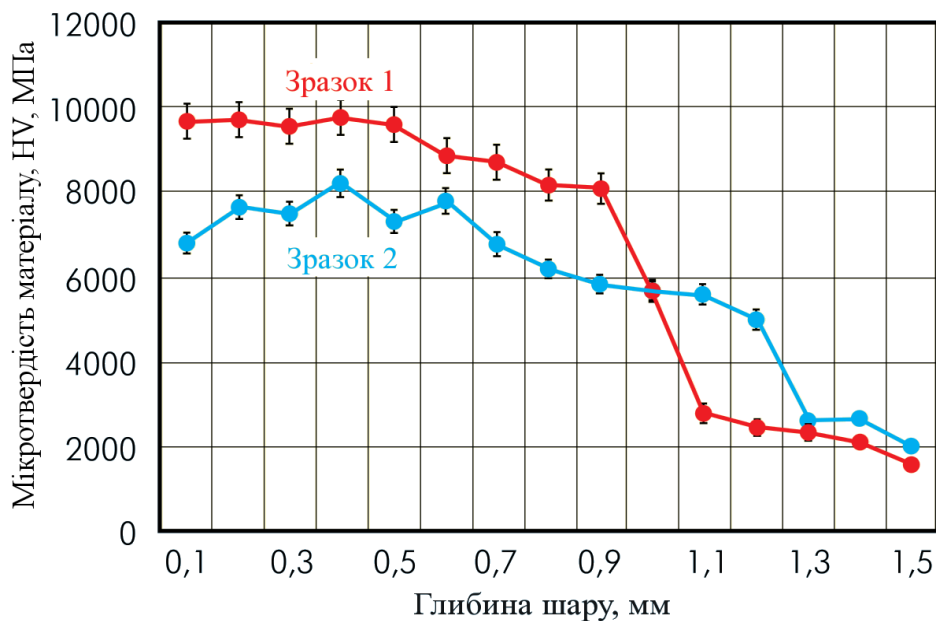


Рис. 2. Залежність мікротвердості сталі від глибини зони лазерного впливу.

Отримані методом поверхневої лазерної обробки товщини шарів (наплавленого, легованого і загартованого) достатні для зниження корозійного й абразивного зношування поверхні інструментів. У порівнянні із загартуванням зразків струмами високої частоти ці результати вищі в 3-5 разів, а в порівнянні з індукційним наплавленням такого ж порошку – вищі в 3-4 рази.

Також відомо, що існує можливість додатково керувати процесом лазерного термозміцнення металів шляхом використання електростатичного поля. В результаті загартування сталі 65Г без опалення під час впливу енергії накачування активного елемента лазера  $W = 3,8$  КДж утворюються дві зони у поверхні металу [9]. Перша зона має структуру мартенситу, її мікротвердість становить  $841 \text{ HV}_{0.05}$ . Друга зона являє собою мартенсит і троостит, її мікротвердість складає величину  $494 \text{ HV}_{0.05}$ . Глибина зони термічного впливу становить  $0,04$  мм.

В результаті дії електростатичного поля під час лазерного загартування твердість першої зони зростає до  $946 \text{ HV}_{0.05}$ , а твердість другої зони майже не змінюється й становить  $501 \text{ HV}_{0.05}$ . При цьому глибина зони термічного впливу зростає до  $0,08$  мм.

В результаті мікροструктурного аналізу сталей спостерігається значне збільшення глибини зміцненої зони у порівнянні зі звичайною обробкою внаслідок впливу на дані сталі лазерного випромінювання

у режимах, близьких до температури плавлення й під впливом електростатичного поля напруженістю 5 МВ/м (рис. 3) [9].

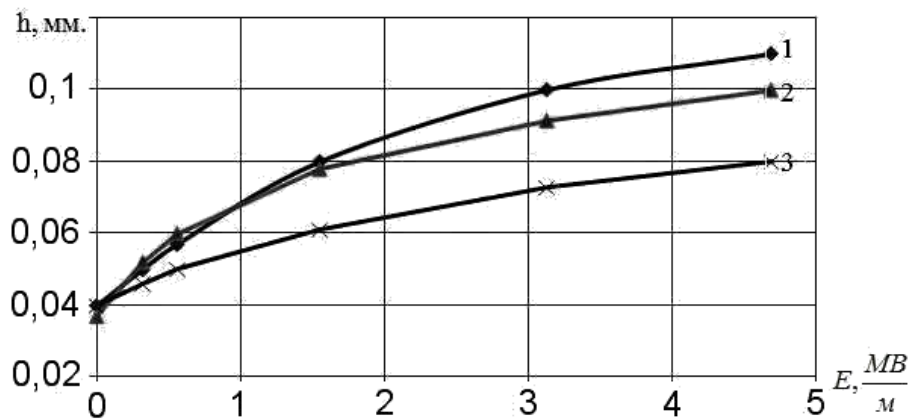


Рис. 3. Залежність глибини зміцненої зони від напруженості електростатичного поля: 1 – Сталь 10,  $W = 3$  кДж; 2 – Сталь 65Г,  $W = 4,5$  кДж; 3 – Сталь 65Г,  $W = 3,8$  кДж.

На глибину зони лазерного впливу також додатково впливають такі фактори, як тип лазерного технологічного комплексу, частота та час дії зміцнюючого лазерного випромінювання тощо. Крім цього, ефективність процесу лазерного зміцнення суттєво залежить від вибору типу лазера. У випадку використання волоконних лазерів ефективність процесу зміцнення з урахуванням потужності випромінювання лазера, глибини гартування та швидкості руху виробу порівняно із ефективністю  $CO_2$ -лазера може збільшуватися у 12 разів [10], що значно підвищує конкурентоспроможність даного методу.

### Висновки

Отже, сталь 65Г, що використовується вітчизняними виробниками робочих органів ґрунтообробних машин, може успішно піддаватися лазерному зміцненню та наплавленню, що забезпечить значне підвищення міцності та зносостійкості цих знарядь.

Встановлено, що на мікротвердість даної сталі суттєво впливає глибина зміцненого лазером шару, вона має бути достатньою для забезпечення необхідних характеристик відповідних робочих органів. Застосування під час лазерного зміцнення електростатичного поля дозволяє значно збільшити глибину зони лазерного впливу.

Ефективному впровадженню метода поверхневої лазерної обробки у виробництво може сприяти також використання сучасних волоконних лазерів. У подальшому для забезпечення широкомасштабних досліджень потрібна їх підтримка на державному рівні, що дозволить здійснити розробку широкої номенклатури конкретних технологій лазерного зміцнення різних робочих органів ґрунтообробних машин.

## Список літератури

1. Буханова И. Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения / И. Ф. Буханова, В. В. Дивинский, В. М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 264–270.
2. Бирюков В. П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением / В. П. Бирюков // Фотоника. – 2009. – № 3. – С. 14–16.
3. Бирюков В. П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой / В. П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 256–264.
4. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В. М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
5. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, А. В. Сайчук, В. Л. Манило // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки». – 2011. – № 30. – С. 257–265.
6. Вейко В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Введение в лазерные технологии / В. П. Вейко, А. А. Петров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
7. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки : Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. ; под ред. А. Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
8. Черненко В. С. Променеві методи обробки : навч. посібник / Черненко В. С., Кіндрачук М. В., Дудка О. І. – К.: Кондор, 2008. – 166 с.
9. Башмаков Д. А. Управление процессом лазерного термоупрочнения металлов в электростатическом поле : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение)», 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» / Д. А. Башмаков. – Набережные Челны, 2010. – 19 с.
10. Попов В. О. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и СО<sub>2</sub>-лазеров / В. О. Попов // Фотоника. – 2009. – № 4. – С. 18–21.

*Проанализировано, какой тип стали производители рабочих органов почвообрабатывающих машин используют в Украине. Исследовано свойства этой стали вследствие лазерного упрочнения и возможность применения для ещё большего повышения износостойкости соответствующих орудий разных дополнительных мер с целью обеспечения успешного внедрения метода поверхностной лазерной обработки в производство.*

**Метод поверхностной лазерной обработки, лазерное упрочнение, закаливания, наплавки, износостойкие твердосплавные порошки, сталь 65Г, рабочие органы почвообрабатывающих орудий.**

*It is analysed, what type of steel is used in Ukraine by the producers of working organs of soil-cultivating machines. Properties of this steel after the laser strengthening and possibility of application of different additional measures are investigational for the yet greater increase of wearproofness of corresponding instruments with the purpose of providing of the successful applying in industry of method of superficial laser treatment.*

***Method of surface laser treatment, laser hardening, hardening, welding, wear-resistant carbide powders, steel 65Г, working bodies tillage tools.***

УДК 658 : 631.3

## **ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ КООПЕРАТИВІВ ІЗ КОРМОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЛОЧНИХ ФЕРМ СІМЕЙНОГО ТИПУ**

***А. М. Тригуба, кандидат технічних наук  
Львівський національний аграрний університет***

*Запропоновано метод обґрунтування параметрів технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу. Обґрунтовано доцільність створення сільськогосподарських виробничих кооперативів для кормозабезпечення сімейних молочних ферм. Встановлено залежності потреби в площах для вирощування кормових культур від поголів'я молочного стада. Обґрунтовано параметри технічного оснащення для кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу.*

***Молочне скотарство, система кормозабезпечення, параметри, технічне оснащення.***

**Постановка проблеми.** Ефективність виробництва молока на фермах сімейного типу значною мірою залежить від системи кормозабезпечення [1]. Водночас, залишається невирішеною науково-прикладна задача стосовно обґрунтування параметрів технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу для окремих територій (адміністративних районів, селищних рад тощо).

**Аналіз останніх досліджень.** Питанням обґрунтування параметрів систем кормозабезпечення окремих молочних ферм присвячено низку наукових робіт як вітчизняних [2], так і іноземних учених [3].

© А. М. Тригуба, 2015

Аналіз цих робіт свідчить про те, що ними не враховується територіальне розташування полів із кормовими культурами. Зі зростанням поголів'я молочного стада зростає потреба у кормах та площах полів для вирощування кормових культур, зростають віддалі від них до молочних ферм. У той же час витрати на транспортні процеси (доставка насіння і міндобрив, транспортування врожаю кормових культур тощо) зі збільшенням поголів'я молочного стада також зростають.

**Мета досліджень** – розкрити метод обґрунтування параметрів технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу і на його основі визначити потребу в технічному оснащенні.

**Результати досліджень.** Кооперативи із кормозабезпечення є обслуговуваними для молочних ферм сімейного типу. Об'єктивно обґрунтувати параметри технічного оснащення цих кооперативів неможливо без імітаційного моделювання механізованих процесів вирощування окремих кормових культур та логістичних процесів їх транспортування і складування. Водночас, моделювання цих процесів слід здійснювати системно [4].

Імітаційне моделювання процесів кормозабезпечення молочних ферм виконується на підставі реалізації наступних етапів: 1) для заданої системи та способу утримування молочного стада, його поголів'я та раціону годівлі обґрунтовують потребу в окремих видах кормів і визначають площі полів для вирощування кормових культур; 2) досліджують виробничі умови регіону (площі полів, відстані від полів до молочних ферм, тип ґрунтів і їх родючість тощо); 3) формують кормові сівозміни і закріплюють кормові культури за реальними полями; 4) на підставі імітаційного моделювання процесів вирощування кормових культур і логістичних процесів кормозабезпечення визначають їх функціональні і вартісні показники за заданого технічного оснащення та виробничих умов; 5) цілеспрямовано змінюють марковий склад технічного оснащення і територіальне розташування кормових культур на окремих полях відповідно до обґрунтованої сівозміни, повторюють процедуру імітаційного моделювання процесів вирощування кормових культур та логістичних процесів і для кожного із їх варіантів визначають функціональні та вартісні показники; 6) на основі порівняння окремих варіантів технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення сімейних молочних ферм за питомими витратами коштів визначають його базові параметри, за яких ці витрати є мінімальні.

Обґрунтування потреби в окремих видах кормів для молочного стада і визначення площ полів, які слід відвести для вирощування кормових культур, здійснюється на підставі відомого методу [5]. Вра-

ховуючи те, що технологічні процеси вирощування кормових культур та логістичні процеси кормозабезпечення належать до складних (складовим цих процесів характерний мінливий характер) для визначення їх функціональних і вартісних показників використовують імітаційне моделювання. При цьому існує гіпотеза про те, що для заданої площі вирощування кормових культур існують оптимальні параметри технічного оснащення ( $Z_{opt}$ ), за яких корма отримують з мінімальними питомими сукупними витратами коштів ( $B$ ):

$$\Phi(Z_{opt}) = B \rightarrow \min. \quad (1)$$

Для заданої площі вирощування кормових культур і параметрів технічного оснащення питомі сукупні витратами коштів визначають за виразом:

$$B = B_{вир} + B_{лог}, \quad (2)$$

де:  $B_{вир}$  – питомі витрати коштів на виконання технологічних процесів вирощування та збирання кормових культур, грн./гол.;  $B_{лог}$  – питомі витрати коштів на виконання логістичних процесів кормозабезпечення, грн./гол.

Питомі витрати коштів ( $B_{вир}$ ) на виконання технологічних процесів вирощування та збирання кормових культур визначаються за виразом:

$$B_{вир} = \frac{B_{втв} + B_{вук}}{n_k}, \quad (3)$$

де:  $B_{втв}$  – втрати коштів через несвоєчасне виконання технологічних процесів вирощування та збирання кормових культур, грн.;  $B_{вук}$  – витрати коштів на виконання технологічних процесів вирощування та збирання кормових культур, грн.;  $n_k$  – поголів'я молочного стада, гол.

Питомі витрати коштів ( $B_{лог}$ ) на виконання логістичних процесів кормозабезпечення визначаються за виразом:

$$B_{лог} = \frac{B_{втл} + B_{тп} + B_{ск}}{n_k}, \quad (4)$$

де:  $B_{втл}$  – втрати коштів внаслідок втрат врожаю кормових культур через несвоєчасне виконання логістичних процесів кормозабезпечення, грн.;  $B_{тп}, B_{ск}$  – відповідно витрати коштів на виконання процесів транспортування врожаю кормових культур і його складування, грн.

На підставі імітаційного моделювання технологічних процесів вирощування кормових культур визначають наступні функціональні показники: 1) середній обсяг несвоєчасно виконаних  $i$ -х робіт для  $k$ -ї

кормової культури ( $\bar{M}[S_k^u]$ ), га·діб; 2) середньорічний обсяг фактично виконаних  $i$ -х робіт для  $k$ -ї кормової культури  $r$ -м видом технічного оснащення  $\bar{M}[\Omega_r^\phi]$ , га.

На підставі використання вище описаного методу обґрунтовано параметри технічного оснащення для молочних ферм сімейного типу. Прийнято, що утримання корів здійснюється за стійлово-пасовищною системою із прив'язним способом, яка є характерною для умов західного регіону України. Визначення потреби в кормах і площах для їх вирощування виконували за допомогою комп'ютерної програми розробленої на кафедрі управління проектами та безпеки виробництва Львівського національного аграрного університету. Прийнято, що річний надій від корів становить 6000 кг/рік молока, що забезпечується раціоном годівлі корів без використання концентратів.

Враховуючи те, що сімейні молочні ферми відносяться до малих (поголів'я до 200 голів), їх технічне оснащення повинно базуватися на енергетичних засобах малої потужності. За базовий енергетичний засіб прийнято вітчизняний трактор ХТЗ-3510, який відноситься до тягового класу 0,6 і має потужність 25,7 кВт. Комплектування машинно-тракторних агрегатів для виконання окремих технологічних і транспортних операцій здійснювалося з використанням наявних на ринку сільськогосподарських машин. Вартість технічного оснащення та витратних матеріалів для виробництва кормів прийнята та, що була на ринку України станом на 1 травня 2015 року.

Імітаційне моделювання процесів вирощування кормових культур і логістичних процесів кормозабезпечення виконували за допомогою комп'ютерної програми розробленої у Національному науковому-центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». Терміни виконання окремих операцій взято із технологічних регламентів на вирощування кормових культур, а продуктивність окремих машинно-тракторних агрегатів і витрата палива з типових норм. На підставі імітаційного моделювання процесів вирощування кормових культур і логістичних процесів кормозабезпечення визначили їх функціональні показники. Це дало можливість обґрунтувати залежності потреби в технічному оснащенні для виробництва кормів від поголів'я молочного стада (рис. 1).

Отримана залежність (рис. 1, а) свідчать про те, що потреба у енергетичних засобах для виробництва кормів змінюється дискретно та із зростанням поголів'я молочного стада, зростає. Зокрема, для кооперативів кормозабезпечення, що обслуговуватимуть сімейні молочні ферми із сумарним поголів'ям до 200 голів, потреба у тракторах ХТЗ-3510 змінюється від 1 до 5 од. Окрім того, встановлена залежність (рис. 1, б) потреби ( $N_e$ ) у виконавцях для виробництва кор-



мів від сумарного поголів'я ( $n_e$ ) молочного стада сімейних ферм, які обслуговуватиме кооператив свідчить про те, що за сумарного поголів'я корів сімейних молочних ферми від 3 до 200 голів потреба у виконавцях змінюється від 1 до 6 осіб.

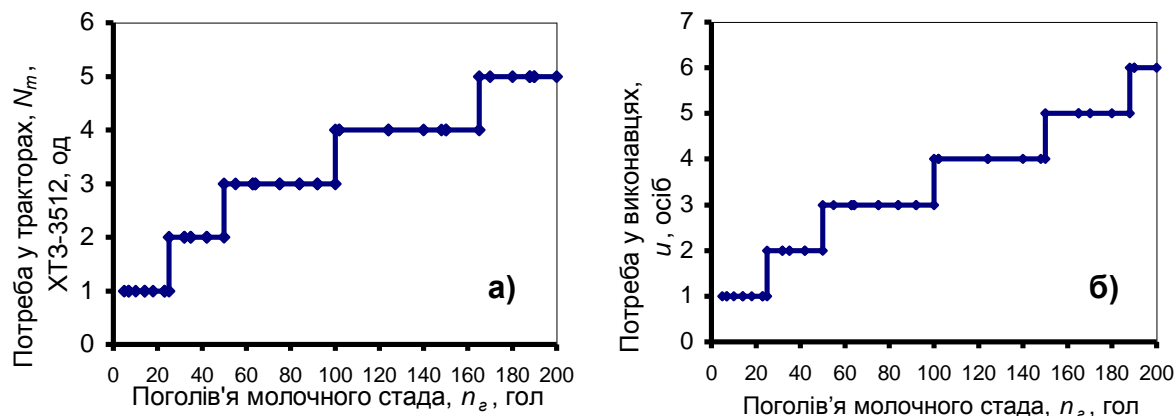


Рис. 1. Залежності потреби кооперативу у тракторах ХТЗ-3510 (а) та виконавцях (б) для виробництва кормів від сумарного поголів'я молочного стада сімейних ферм.

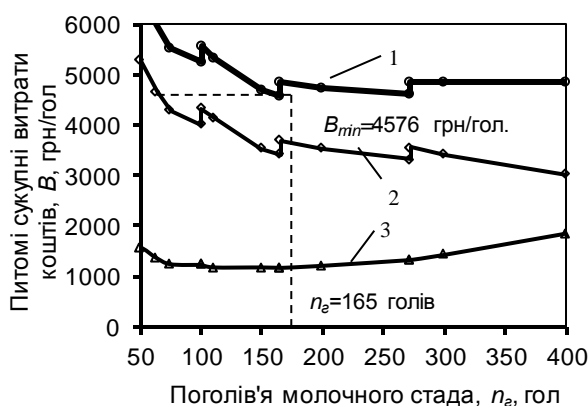


Рис. 2. Залежність питомих сукупних витрат коштів ( $B$ ) на виробництво кормів від поголів'я ( $n_r$ ) молочного стада.

На підставі отриманих функціональних показників використання технічного оснащення для виробництва кормів визначено їх вартісні показники. Це дозволило встановити залежності питомих витрат коштів на виконання технологічних процесів вирощування кормових культур і транспортних процесів від поголів'я молочного стада (рис. 2). Мінімальні питомі сумарні витрати коштів ( $B_{min} = 4576$  грн/гол.) на виробництво кормів спостерігаються у кооперативі, що обслуговуватиме молочні сімейні ферми із сумарним поголів'ям молочного стада 165 голів. При цьому, до складу технічного оснащення кооперативу із кормозабезпечення цих ферм входять: трактори ХТЗ-3510 – 4 од; дискові борони 1ВQХ 1.9 – 1 од; стогоме-

ти-навантажувачі СНУ-550 – 1 од; причепа тракторні 1ПТС-2.5 – 2 од; розкидачі мінеральних добрив МВУ-0.5 – 1 од; розкидачі органічних добрив SIP ORION 35 R – 1 од; плуги ПМТ-01.00.000 – 1 од; зубові борони БЗСС-1,0 – 3 од; агрегати для транспортування води АПВ-3 – 1 од; обприскувачі ОГН-400 – 1 од; культиватори КУН-1.6 – 1 од; сівалки 2ВУФ-5 – 1 од; культиватори окучники КОН-1.4 – 1 од; котки СКГ-2 – 1 од; косарки КН-2.1 – 1 од; граблі ворущилки Г-3.4 – 1 од. На підставі вище сказаного можна стверджувати, що розроблений метод дає можливість обґрунтувати параметри технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу за заданих виробничих умов. Отримані результати свідчать про те, що для умов малого Полісся Львівщини ефективно виробництво кормів у кооперативах із кормозабезпечення можливе за умови обслуговування цим кооперативом поголів'я молочного стада ферм сімейного типу в межах 165-272 голів.

### **Висновки**

1. Запропонований метод обґрунтування параметрів технічного оснащення кооперативів із кормозабезпечення молочних ферм сімейного типу передбачає реалізацію шести етапів і базується на імітаційному моделюванні процесів виробництва кормів і логістичних процесів їх заготівлі.

2. На підставі імітаційного моделювання технологічних процесів вирощування кормових культур і логістичних процесів їх заготівлі обґрунтовано функціональні показники використання технічного оснащення і потреба в ньому. Встановлено, що потреба в тракторах ХТЗ-3510 для кооперативів, що обслуговуватимуть сімейні молочні ферми із сумарним поголів'ям до 200 голів, змінюється від 1 до 5 од, а у виконавцях від 1 до 6 осіб.

3. Обґрунтовано, що мінімальні питомі сумарні витрати коштів ( $B_{min}=4576 \text{ грн/гол.}$ ) на виробництво кормів спостерігаються у кооперативі, що обслуговуватиме молочні сімейні ферми із сумарним поголів'ям молочного стада 165 голів.

### **Список літератури**

1. *Шацкий В. В.* Основные направления инновационного развития технико-технологического потенциала животноводства / *В. В. Шацкий* / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. Вип. 11, т. 5. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 3–9.
2. *Онищенко О. М.* Сільськогосподарські виробничі кооперативи оцінка положень формування і функціонування / *О. М. Онищенко* // Економіка АПК. – 2003. – № 10. – С. 15.
3. *Артюшин А. А.* Обоснование оптимальной структуры системы кормопроизводства для молочных ферм / *А. А. Артюшин, В. К. Скоркин, Е. И. Резник* // Науч. тр. / ВНИИМЖ. – Подольск, 2002. – Т. 11. – Ч. 2. – С. 54–64.

4. Сидорчук О. В. Інженерія машинних систем : монографія / О. В. Сидорчук. – К.: ННЦ «ІМЕСГ» УААН, 2007. – 263 с.
5. Tryhuba A. Argumentation of the parameters of the system of purveyance of milk collected from the private farm-steads within a single administrative district / A. Tryhuba // Econtechhod : An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes.– Lublin-Rzeszow, 2014. – Vol. 3, No. 4. – P. 23–27.

*Предложен метод обоснования параметров технического оснащения кооперативов с кормообеспечения молочных ферм семейного типа. Обоснована целесообразность создания сельскохозяйственных производственных кооперативов для кормообеспечения семейных молочных ферм. Установлены зависимости потребности в площадях для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада. Обоснованно параметры технического оснащения для кормообеспечения молочных ферм семейного типа.*

***Молочное скотоводство, система кормообеспечения, параметры, техническое оснащение.***

*The method of parameters grounding for technical equipment of feed productions cooperative for milk farms of family type are given. The expediency of agricultural production cooperatives creation for feed productions of family dairy farms is grounded. The dependences areas for growing green crops from livestock dairy herd are founded. The parameters of technical equipment for dairy farms feed productions of family type are grounded.*

***Dairy farming, system of feed supply, parameters, technical equipment.***

УДК 631.33.02

## **ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ НАСІННЯ ПО РОЗПОДІЛЬНИКУ СОШНИКА ДЛЯ ПІДГРУНТОВО-РОЗКИДНОГО СПОСОБУ СІВБИ**

***М. Л. Заєць, кандидат технічних наук  
Житомирський національний агроекологічний університет  
М. М. Живега, магістр  
Вінницький національний аграрний університет***

*Розглядається визначення оптимальної форми розподільника та процес розподілу насіння комбінованим розподільником у виді*

© М. Л. Заєць, М. М. Живега, 2015

*криволінійної призми. Від форми розподільника залежить якість розподілення насіння по ширині смуги, що засівається. Рівномірність розташування насіння по ширині захвату сошника буде характеризуватися швидкістю надходження насіння на похилу ділянку розподільника.*

**Швидкість, сівба, розподільник, твірна, рівномірність.**

**Постановка проблеми.** Суттєвою різницею між існуючими рядковими сівалками і сівалками для підґрунтового-розкидного способу сівби є конструкція сошників, зокрема їх розподільних пристроїв. Сошники сівалок для підґрунтового-розкидної сівби у більшості випадків виконані у вигляді культиваторної лапи з різною шириною захвату [5]. Розподільник насіння є одним з основних елементів сошника, який безпосередньо впливає на рівномірність розподілу технологічного матеріалу по площі поля та збільшення ширини смуги, що засівається. Різні форми відбивачів та конструкції розподільних пристроїв у сошниках для підґрунтового-розкидного способу сівби зумовлені підвищенням рівномірності розподілу насіння по площі поля.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідниками [1-4] доведена перевага розподільників із криволінійними утворюючими, на робочій поверхні яких насіння плавно змінюють напрямок свого руху і з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір і висівається на дно борозни.

Для того щоб швидкість руху насіння досягла максимальних значень у точці сходу з кривої, крива повинна задовольняти умовам найшвидшого переміщення часток за деякий проміжок часу. Такій кривій по визначенню є брахистохрона.

Теоретичним і експериментальним дослідженням руху насіння по криволінійній утворюючій присвячена робота Кірова А. А. [3]. Він розглядає брахистохрону як сукупність прямолінійної ділянки й кола постійного радіуса  $r$ , а рух насіння по криволінійній твірній розглядає як рух насіння по такому колу.

**Мета досліджень.** Враховуючи те, що процес розподілу насіння при підґрунтового-розкидному способі сівби носить випадковий характер, тому що визначається великою кількістю факторів, які неможливо повністю врахувати, то його можна розглядати у відповідності із законами теорії ймовірностей [2]. У зв'язку з цим пропонуються різні типи технологічних схем розподільних пристроїв сошників з метою проектування та виготовлення їх для подальшого дослідження.

**Результати досліджень.** Отримана формула швидкості сходу (1) із криволінійної ділянки утворюючої  $V$  із припустимою точністю може бути прийнята для розрахунку траєкторії і швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника:

$$V = \sqrt{e^{-\pi \cdot f} \left( V_0 \cdot \cos^2 \gamma_0 - \frac{6 \cdot g \cdot r \cdot f}{1 + 4 \cdot f} \right) + 2 \cdot g \cdot r \cdot \frac{1 - 2 \cdot f^2}{1 + 4 \cdot f^2}}, \quad (1)$$

де:  $f$  – коефіцієнт тертя зерна по сталі;  $V_0$  – швидкість надходження насіння на криволінійну ділянку твірної, м/с;  $\gamma_0$  – кут між вертикальною віссю  $y$  і початковим напрямком швидкості  $V_0$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Однак, у дійсності радіус кривизни брахистохрони змінюється по визначеному законі. Відмінність дійсного радіуса брахистохрони від радіуса кола веде до того, що і дійсна швидкість руху з криволінійної твірної буде відрізнятися від розрахункової. А тому що від швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника буде залежати запас кінетичної енергії, що обумовлює дальність розподілу насіння у підсошниковому просторі, то розгляд даного питання є важливим і необхідним етапом теоретичного дослідження. Розглянемо рух одиничного насіння по брахистохроні, що є твірною розподільника (рис. 1).

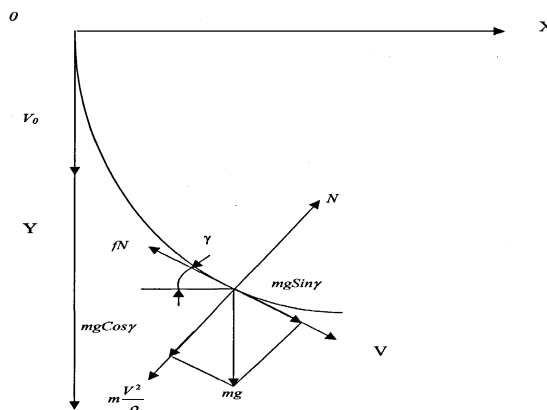


Рис. 1. Схема сил, що діють на матеріальну точку при русі по брахистохроні.

Частка насінного матеріалу надходить на криволінійну поверхню з початковою швидкістю  $V_0$ . При русі по криволінійній поверхні на насіння діють: вага, сила тертя, відцентрова сила і сила нормального тиску. Проектуючи сили на нормаль і дотичну, запишемо систему диференціальних рівнянь:

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \gamma - f \cdot N, \quad N = m \cdot \frac{V^2}{\rho(\varphi)} + m \cdot g \cdot \cos \gamma, \quad (2)$$

де:  $m$  – маса насіння, кг;  $V$  – швидкість насіння, м/с;  $N$  – сила нормального тиску, Н;  $\gamma$  – кут нахилу дотичної до обрїю, радіан;  $t$  – час руху, с;  $\rho(\varphi)$  – радіус кривизни брахистохрони, у залежності від кута повороту твірної кола ( $\varphi$ ).

Відомо, що брахистохрона утворена колом, що котиться по прямій без ковзання. Отже, для будь-якої точки, радіус кривизни брахистохрони буде дорівнює хорді кола АС (рис. 2). Причому один кінець хорди буде належати прямій, по якій котиться коло.

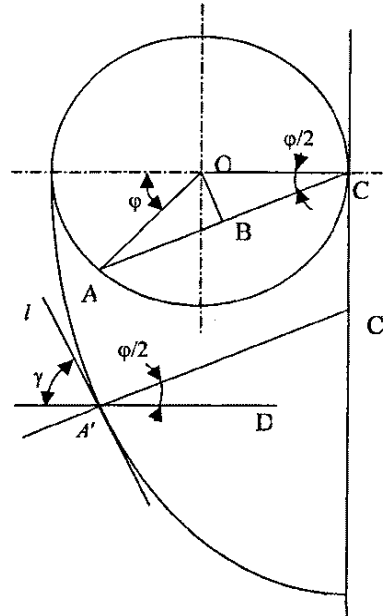


Рис. 2. Схема для визначення радіуса кривизни брахистохрони.

З'єднаємо точки А і С з центром кола О. Розглянемо отриманий рівнобедрений трикутник АОС. З трикутника одержимо:

$$\sphericalangle OCA = \frac{\varphi}{2}, \quad (3)$$

де:  $\varphi$  – кут, на який повернеться коло при перекочуванні за час  $t$ .

З прямокутного трикутника ОВС визначимо:

$$BC = OC \cdot \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{d}{2} \cdot \cos \frac{\varphi}{2}, \quad (4)$$

де:  $d$  – діаметр твірної кола, м.

Отже, шуканий радіус кривизни брахистохрони АС:

$$\rho(\varphi) = d \cdot \cos \frac{\varphi}{2}, \quad (5)$$

Перенесемо АС паралельно самій собі до перетину з брахистохроною (А'С) і через точку перетину А проведемо лінію горизонту А'С і дотичну  $l$ , тоді:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

Врахуємо, що за час  $t$  коло повернеться на кут  $\varphi$ , тобто:

$$dt = \frac{d\varphi}{V} \rho(\varphi) = \frac{d\varphi}{V} \cdot d \cdot \cos \frac{\varphi}{2}.$$

Підставимо значення (4), (5) і (6) у систему рівнянь (2), і після перетворень одержимо:

$$V \cdot \frac{dV}{d\varphi} + f \cdot V^2 = g \cdot d \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2} - g \cdot d \cdot \frac{\sin \varphi}{2}. \quad (7)$$

Отримане диференціальне рівняння є рівнянням Бернуллі.  
Загальне рішення рівняння:

$$V^2 = g \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{-2 \cdot f \varphi} \cdot C, \quad (8)$$

де:  $C$  – постійна інтегрування

Постійну інтегрування визначимо з початкових умов: при куті повороту твірного кола брахистохрони, що відповідає точці потраплення насіння на криволінійну твірну розподільника:

$$\varphi = \varphi_0 - \varphi_1, \quad V = V_0.$$

$$C = e^{2 \cdot f \cdot \varphi_1} \cdot \left( V_0^2 - g \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right). \quad (9)$$

З урахуванням того, що  $\varphi_0 = \pi$ , можна записати:

$$\varphi = \pi - \varphi_1. \quad (10)$$

Підставивши значення постійної інтегрування  $C$  (вираз 9) і значення кута  $\varphi$  вираз (10) у рівняння (8), провівши відповідні перетворення, одержимо формулу для визначення швидкості сходу насіння з криволінійної твірної розподільника:

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left( V_0^2 - g \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}. \quad (11)$$

При установці дільника під кутом до горизонту, вираз (11) запишеться в такому вигляді:

$$V_{cx} = \sqrt{g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left( V_0^2 - g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[ \frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right)}. \quad (12)$$

Кут  $\varphi_1$  визначиться по наступній формулі:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot a}{d}\right), \quad (13)$$

де:  $a$  – відстань від осі розподільника до точки потрапляння насіння, м (рис. 3).

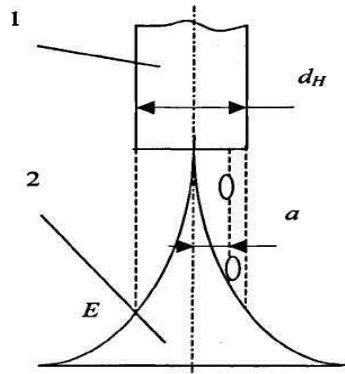


Рис. 3. Схема надходження насіння на розподільник: 1 – напрямляч, 2 – розподільник.

Для аналізу залежності швидкості сходу від коефіцієнта тертя підставимо в залежність (12) значення  $f=0,2...0,5$ , при постійному значенні  $a$  і проведемо розрахунки. З отриманої залежності  $V(f)$  (рис. 4) видно, що коефіцієнт тертя в незначному мірі (у межах зміни  $f$  зміна швидкості складає 5,5...5,9 %) впливає на швидкість сходу.

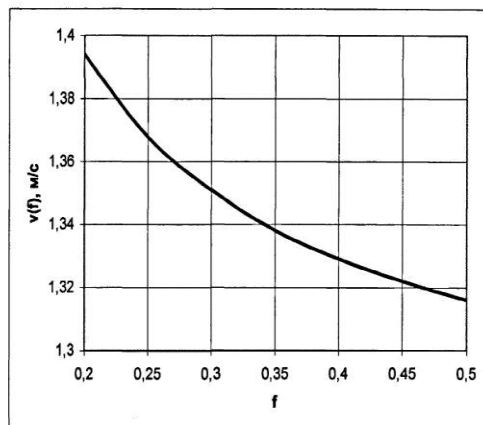


Рис. 4. Теоретична залежність швидкості сходу насіннини від коефіцієнта тертя.

Основним фактором, що впливає на швидкість сходу, є діаметр твірної кола брахистохрони. Оптимальний діаметр кола і, відповідно, геометричний розмір самого розподільника визначиться з погляду достатності швидкості сходу з криволінійної ділянки твірної розподільника. Для аналізу залежності швидкості руху від координати влучення насіння на криволінійну поверхню підставимо в залежність (13) значення  $a = 0...0,02$  і проведемо розрахунки по залежності (12).



За результатами розрахунків побудуємо графічну залежність швидкості руху від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника  $V(a)$  (рис. 5).

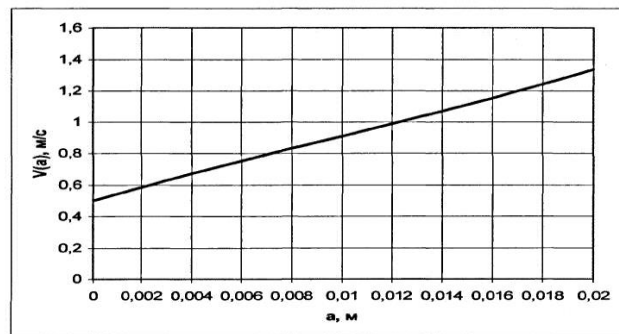


Рис. 5. Теоретична залежність швидкості руху насіння від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника.

Найбільша швидкість сходу буде в тих насінин, що потрапляють на розподільник у крайній точці (Е) проекції направляча насіння (рис. 3), через те, що ці насінини будуть проходити меншу відстань по криволінійній поверхні і відповідно втрати кінетичної енергії на роботу сил тертя будуть менші. У цьому випадку кут  $\varphi_1$  визначитися по наступній залежності:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{d_n}{d}\right), \quad (14)$$

де:  $d_n$  – внутрішній діаметр направляча, м.

Таким чином, використовуючи отримані залежності (12), (13), (14) можна визначити швидкість руху насіння із криволінійної твірної в залежності від конструктивних параметрів (діаметра твірної кола, діаметра перетину вихідного направляча або насіннепроводу) розподільника і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню розподільника. Для підвищення дальності розподілу насіння по ширині смуги, яка засівається сошником, розподільник повинний використовуватися з похилою площиною, що є його основою.

### Висновки

1. Одним зі шляхів збільшення дальності розподілу насіння по ширині розсіву сошником є застосування розподільника, що представляє собою комбінацію дільника з криволінійної твірної у виді брахистохрони, і похилу поверхню, що розподіляє, і є основою розподільника.

2. Отримано теоретичні залежності для визначення конструктивних параметрів комбінованого розподільника: швидкості сходу з криволінійної твірної від діаметра твірної кола брахистохрони; дальності розподілу насіння (у параметричному виді) від конструктивних

параметрів похилої ділянки (довжини похилої ділянки і кута його встановлення до горизонту), використання яких дозволяє визначити оптимальні параметри розподільника і похилої ділянки для забезпечення розсіву насіння по ширині захвату сошника з необхідними дальністю і рівномірністю.

3. Швидкість руху насіння із криволінійної твірної розподільника залежить від діаметра твірної кола брахистохрони і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню.

### Список літератури

1. Гнилометов В. Г. Исследование и совершенствование технологического процесса сеялок-культиваторов в условиях Среднего Поволжья: Дис... канд. техн. наук. – Кинель, 1981. – 226 с.
2. Есипов В. И. Исследование качественных показателей рабочих органов комбинированных посевных агрегатов при различных способах основной обработки почвы. – Куйбышев, 1976. – 212 с.
3. Киров А. А. Обоснования процесса равномерного распределения семян по площади поля и параметров распределителя сошника для подпочвенного разбросного посева: Дис... канд. техн. наук. – Кинель, 1984. – 218 с.
4. Ковріков І. Т. Основні принципи розробки розподілюючих пристроїв підгрунтово-розкидних сошників зернових сівалок / І. Т. Ковріков // Трактори і сільськогосподарські машини. – 1983. – №5 – С. 13–14.
5. Хоменко М. С. и др. Механизация посева зерновых культур и трав. Справочник / М. С. Хоменко, В. А. Зырянов, В. А. Насонов. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.

*Рассматривается определение оптимальной формы распределителя и процесс распределения семян комбинированным распределителем в виде криволинейной призмы. От формы распределителя зависит качество распределения семян по ширине полосы, которая засеивается. Равномерность расположения семян по ширине захвата сошника будет характеризоваться скоростью поступления семян на наклонную участок распределителя.*

**Скорость, посев, распределитель, образующая, равномерность.**

*We consider the determination of optimal shape of the distributor and the process of distribution of seeds combined distributor in the form of curved prisms. From the distributor form depends on the quality of seed distribution across the width of the strip that sown. The uniformity of seeds on the location Shovel width will be characterized by the speed of flow of seeds on a sloping plot distributor.*

**Speed, sowing, distributor, generators uniformity.**

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ҐРУНТООБРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЗНАРЯДЬ

***В. І. Ветохін, доктор технічних наук  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»***

*Запропоновано зв'язок між агротехнологічною операцією «кришення ґрунту», системними властивостями «здатність утворювати та відновлювати структуру під дією природних та техногенних чинників» і фізико механічними властивостями ґрунту. Визначено поняття «властивість» як характеристики здатності системи до зміни або збереження стану та відповідного процесу. До параметрів стану пропонується віднести показники та характеристики, що кількісно визначають поточний стан системи.*

***Властивості ґрунту, проектування, ґрунтообробні процеси, знаряддя, зв'язок властивостей та технологічних операцій, параметри стану.***

**Постановка проблеми.** Удосконалення ґрунтообробної техніки у зв'язку з переходом на нові технології вимагає вивчення фундаментальних питань взаємодії ґрунту і ґрунтообробного знаряддя. До таких питань відносяться властивості ґрунту, що визначають якісні та енергетичні показники роботи.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналізу властивостей ґрунту у зв'язку з його обробіткою присвячена значна кількість досліджень. Так, В. П. Горячкин на початку минулого сторіччя відносив до властивостей ґрунту питому вагу, вологосміність, зв'язність, опір деформацій, коефіцієнт тертя [1]. Він запропонував використовувати різні показники, режими роботи та геометричні параметри знарядь в залежності від поділу ґрунтів на «тверді, крихкі, м'які і середні» [1].

«Основи теорії та розрахунку ...» [2] містять сучасне визначення технологічних операцій, способів обробітки та властивостей ґрунту. Але в подальшому викладені розрахунку машин і знарядь для обробітки ґрунту використовуються майже виключно кути внутрішнього та зовнішнього тертя ґрунту.

П. В. Сисолін з колективом авторів [3], розглядаючи ґрунт як об'єкт механічної обробки, виділяє наступні властивості ґрунту: пористість, вологість, липкість, твердість (щільність), тертя ковзання по

© В. І. Ветохін, 2015

металу і коефіцієнт тертя, опір зрушенню і зчеплення, абразивні властивості. Проте, надалі аналізі технологічного процесу дії клина з усіх перерахованих параметрів використовується тільки коефіцієнт тертя ґрунту по клину, а в прикладі побудови робочої поверхні корпусу відвального плуга застосовуються тільки геометричні співвідношення. Це свідчить про складність використання для проектування знарядь даних про властивості ґрунту у вигляді, в якому вони розглядаються сучасною наукою.

В роботі [4] при обґрунтуванні форми і параметрів глибокорозпушувача, а також механізму кришення ґрунту використано співвідношення міцності ґрунту на стискання та розтягування. У подальшому, у роботах [5] проаналізовано фізико-механічні процеси перетворення локального стискання скиби під дією клина в деформації розтягнення об'єму скиби. Підтверджено, що фізико-механічні процеси визначаються не абсолютними значеннями міцності ґрунту різним типам навантаження, а саме їх співвідношенням. Необхідно відмітити, що співвідношення міцності ґрунту на стискання та розтягування за теорією Кулона-Мора визначає значення кута внутрішнього тертя ґрунту. Таким чином простежується зв'язок з положеннями джерела [3]. В ряді публікацій агротехнологічної спрямованості відмічається, що «Серед агрофізичних показників найважливішим є щільність будови ґрунту» [6]. Далі, у тому ж джерелі: «Більшість технологічних прийомів обробітку ґрунту спрямовані на те, щоб щільність ґрунту довести до оптимальної її величини – в межах  $1,12-1,27 \text{ г/см}^3$ . Від величини цього показника, як відомо, залежать майже всі воднофізичні властивості ґрунту: пористість, водопроникність, вологоємність, запаси вологи, стійкість ґрунту до ерозійних процесів» [6].

Загальним чином в існуючих дослідженнях не відстежуються яким чином властивості ґрунту визначають параметри процесу та знаряддя що вивчається або використовується.

В публікації [7] запропонована система властивостей ґрунту, але вона потребує вдосконалення. Таким чином має місце не тільки понятійно-термінологічна неузгодженість, а й різна цільова спрямованість використання властивостей ґрунту.

**Мета досліджень** – з'ясувати співвідношення категорій «властивість» та «параметр стану» відносно до проектування процесів та знарядь для обробітку ґрунту.

**Результати досліджень.** Насамперед необхідно визначити що, задачею агротехнологій є здійснення процесів зміни стану системи з метою досягнення ряду показників, зокрема продуктивності.

Задача агроінженерії – спроектувати технічні засоби, що забезпечать процеси зміни стану системи відповідно до агротехнологій та очікуваних значень показників стану системи.

Філософський словник дає таке визначення: «Властивість — філософська категорія, яка виражає один з моментів виявлення сутності речі у відношеннях з іншими речами; те, що характеризує її подібність до інших предметів або відмінність від них» [8].

У системному розумінні властивість, це характеристика процесу зміни та/або збереження стану системи. Наприклад, твердість — здатність чинити опір проникненню ззовні, відноситься до властивостей. Щільність ґрунту, це показник його поточного стану, а відповідна властивість — здатність змінювати/зберігати щільність. Температура ґрунту не є властивість. Відповідні та пов'язані з показником «температура» характеристики є здатність властивості накопичувати та утримувати тепло.

Приклад з іншої області — параметр електричної енергії, це величина, що кількісно характеризує яку-небудь властивість електричної енергії. Під параметрами електричної енергії розуміють напругу, частоту, форму кривої електричного струму) [9]. Важливим в цьому визначенні є кількісний вираз параметру стану.

Слід зазначити, що вологість та щільність за термінологією стандартів віднесені до фізичних параметрів, що характеризують стан ґрунту [10].

Узагальнення визначень з ряду джерел, та власні дослідження, дозволили дати таке визначення терміну «параметр стану». Параметри стану — фізичні величини, що мають кількісну об'єктивну міру і характеризують поточний стан системи, наприклад, температура, щільність, концентрації компонентів, агрегатний склад, і т. п.

Агротехнологія під властивостями зазвичай розуміє параметри та показники стану. Агроінженерія займається процесами зміни стану в системі «джерело енергії та матеріалу — знаряддя — оброблюване середовище». Тому виявлення властивостей ґрунту, що визначають саму можливість та параметри процесу мають вирішальне значення. Але, наприклад, найбільш поширена агротехнологічна операція «кришення ґрунту» в сучасній науковій літературі не містить навіть назви властивостей ґрунту, що уможливають таку операцію. На відміну від інших матеріалів, що руйнуються необоротно, ґрунт здатен утворювати/відновлювати структуру та структурність під дією природних чинників. ґрунт має різну міцність при деформаціях розтягування та стискання, може деформуватися крихковидно та пластично при різних співвідношеннях об'ємного навантаження (рис. 1, а). Такі особливості були основою моделі взаємодії долотовидного деформатора зі скибою (рис. 1, б) та явища авторегулювання форми знаряддя [11, 12].

Також існує залежність модулів деформацій, коефіцієнтів тертя від режимів навантаження та вологості ґрунту. Такі особливості вла-

ствистостей ґрунту вказують напрямки економії ресурсів при його обробітку. В результаті проведеного аналізу запропонована відповідність між агротехнологічною операцією «кришення ґрунту» та властивостями ґрунту (рис. 2). Властивості ґрунту в системі, а саме здатність утворювати структуру, базуються на елементарних фізико-механічних властивостях. Кількісно, властивості характеризуються показниками і параметрами стану. Такі показники залежать від інших показників стану. Наприклад, кількісне співвідношення міцності при стисканні та розтягуванні, також співвідношення долі пластичних та крихковидних деформацій, залежить від вологості ґрунту, контактного тиску, швидкості навантаження, режимів вібрації та іншого. Вказане надає можливість керувати режимами роботи, використовувати такі залежності при проектуванні технологій і знарядь.

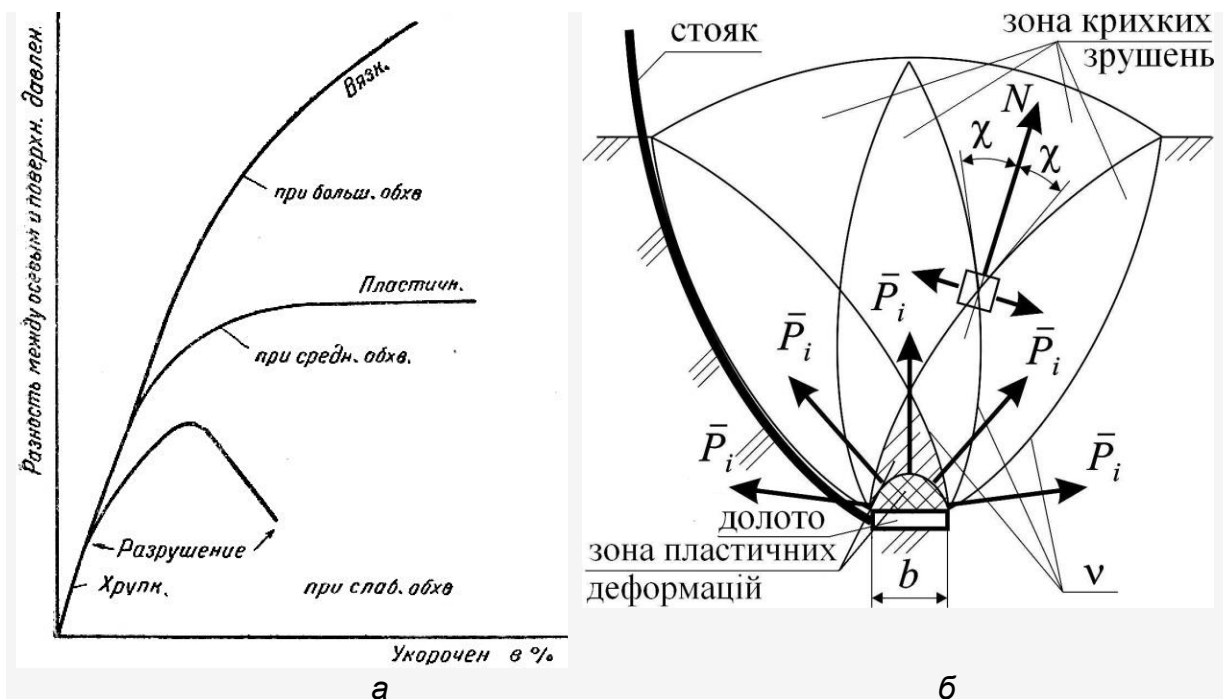


Рис. 1. Прояв деформаційних властивостей ґрунту в різних варіантах напруженого стану та явище авторегулювання форми знаряддя: а – залежність типу руйнування ґрунту від напруженого стану (за В. П. Горячкиним) [1]; б – схема утворення декількох зон в шарі ґрунту в різному напружено-деформованому стані [12].

Перелічені властивості (рис. 2), свідчать про можливість здійснення процесу перетворення стану ґрунту, можливість вибору ресурсозберігаючого режиму роботи. Міра ефективності процесу визначиться кількісним значенням відповідних параметрів стану та задіяних в процесі властивостей ґрунту.

У зв'язку з викладеним, невирішеними питаннями та напрямком подальших досліджень є встановлення розрахункових залежно-

стей, що зв'яжуть в одну систему параметри ґрунтообробних знарядь та властивості ґрунту.

<u>ОПЕРАЦІЯ</u>	<u>ВЛАСТИВІСТЬ</u> Вищого рівня	<u>ВЛАСТИВОСТІ</u> Фізико-механічні	<u>ПАРАМЕТРИ та</u> <u>ПОКАЗНИКИ СТАНУ</u>
Кришення ґрунту	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Здатність утворювати структуру під дією природних та техногенних чинників</li> <li>•Здатність відновлювати структуру під дією природних та техногенних чинників</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Різна міцність при деформаціях різного виду</li> <li>•Крихкість</li> <li>•Пластичність</li> <li>•Залежність модулів деформацій від режимів та вологості</li> <li>•Адгезія внутрішня/зовнішня</li> <li>•Липкість</li> <li>•Залежність коефіцієнтів тертя від режимів навантаження</li> <li>•інші</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Співвідношення міцності при стисканні та розтягуванні</li> <li>•Міцність при стисканні та розтягуванні</li> <li>•Модулі деформації</li> <li>•Діапазон швидкості навантаження при крихкості</li> <li>•Коефіцієнти тертя</li> <li>•Та інші</li> </ul>

Рис. 2. Відповідність між агротехнологічною операцією «кришення ґрунту» та властивостями ґрунту.

### Висновки

Проектування та вдосконалення ґрунтообробних знарядь в недостатній мірі базується на властивостях ґрунту. Також існує понятійна неузгодженість термінів «властивість ґрунту» та «параметр стану».

Доцільно прийняти до загального визнання властивостей як характеристик здатності системи до зміни або збереження стану та відповідних процесів. До параметрів стану слід віднести показники та характеристики, що кількісно визначають поточний стан системи.

У подальших дослідженнях доцільно визначити відповідність певних агротехнологічних операцій переліку властивостей ґрунту.

Другий напрямок подальших досліджень – встановлення переліку властивостей ґрунту та залежних від них геометричних і розмірних параметрів ґрунтообробних знарядь.

### Список літератури

1. Горячкин В. П. О физико-механических и агротехнических свойствах почвы / В. П. Горячкин // Собр. соч.: В 7 т. – М.: Сельхозгиз. 1940. – Т. 4. – С. 237–244.
2. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін. ; Ред. Д. Г. Войтюк. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
3. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П. В. Сисолін, В. М. Сало, В. М. Кропивний ; за ред. М. І. Черновола. – Кн. 1: Машини для рільництва. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

4. Ветохин В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: Дис. ... канд. техн. наук / В. И. Ветохин. – М.: ВИСХОМ, 1991. – 236 с.
5. Ветохин В. И. К теории почвообрабатывающего клина / В. И. Ветохин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип. 41(1). – С. 301–308. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Zmntz\\_2011\\_41\(1\)\\_\\_48.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Zmntz_2011_41(1)__48.pdf).
6. Петриченко В. Ф. Вплив нульового обробітку ґрунту на його фізичні властивості в правобережному Лісостепу України / В. Ф. Петриченко, С. І. Колісник, О. Я. Панасюк, М. М. Єрмолаєв, В. С. Хахула // Агробіологія. – 2013. – Вип. 11. – С. 183–187. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/agr\\_2013\\_11\\_50.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/agr_2013_11_50.pdf).
7. Ветохин В. И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий / В. И. Ветохин // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. - Вип. 13(27), кн.2. – С. 30–38.
8. Філософський словник / за ред. В. І. Шинкарука. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Головна ред. УРЕ, 1986. – 800 с.
9. ГОСТ 23875-88 Качество электрической энергии: термины и определения. Quality of electric energy. Terms and definitions. – Введ. 01.07.89 [Текст] / ГОСТ 23875-88. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
10. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - Взамен ГОСТ 5180-75, 5181-78, 5182-78, 5183-77; Введ. 01.07.85 [Текст] / ГОСТ 5180-84. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.
11. Ветохин В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей / В. И. Ветохин // Тракторы и с.х. машины. – 2010. – № 6. – С. 30–35.
12. Ветохін В. І. Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту / В. І. Ветохін // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – Вип. 20. – С. 104–109.

*Предложена связь между агротехнологического операцией «крошение почвы», системными свойствами «способность образовывать и восстанавливать структуру под действием природных и техногенных факторов» и физико-механическими свойствами почвы. Определено понятие «свойство» как характеристики способности системы к изменению или сохранение состояния и соответствующего процесса. К параметрам состояния предлагается отнести показатели и характеристики, количественно определяют текущее состояние системы.*

***Свойства почвы, почвообрабатывающие процессы, проектирование, орудия, связь свойств и технологических операций, параметры состояния.***

*It suggested a link between agrotechnological operation "crumbling of the soil" system properties "ability to form and retrieve the structure*



*under the influence of natural and anthropogenic factors" and the physical mechanical properties of the soil. The concept of "property" as the characteristics of the system to change or retain the status and the process. The parameters include the proposed state indicators and characteristics, quantified the current state of the system.*

***Properties of soil, tillage processes, tools, connection properties and technological operations, parameters of state.***

УДК 631.172: 631.354.2

## **КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНО-СОЛОМИСТОГО ВОРОХУ В ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНАХ**

***Г. А. Голуб, доктор технічних наук***

*Розроблена кінетична модель процесу сепарації зерно-соломистого вороху в зернозбиральних комбайнах.*

***Кінетика, зернозбиральний комбайн, зерно-соломистий ворох, сепарація.***

**Постановка проблеми.** Будь-які засоби механізації і обладнання мобільних чи стаціонарних технологічних процесів сільськогосподарського виробництва споживають енергію та виконують певний обсяг робіт із показниками якості та надійності, що є характерними для даної машини чи обладнання. Визначення параметрів робочих органів машин та обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва під час їх удосконалення, випробування та експлуатації потребує обґрунтування кількісних критеріїв, без яких неможливо провести оптимізацію параметрів робочих органів. Порівняльну оцінку ефективності механізованих технологічних процесів проводять, як правило, на основі економічних критеріїв. Основним серед них є витрати на виробництво продукції (визначається як сума відрахувань на технічне обслуговування та ремонт, заробітної плати, вартості пального або електроенергії, втраченої продукції та інших складових) і термін окупності машин та обладнання. Деякі параметри машин і обладнання (ширина захвату для польових машин та місткість їх бункерів для вирощеної продукції або добрив, а також робоча швидкість руху по полю) встановлюються на основі мінімізації витрат на виконання технологічної операції. Основні труднощі виникають у разі оптимізації конструкційних і кінематичних параметрів

© Г. А. Голуб, 2015

робочих органів машин та обладнання. Пов'язані вони насамперед із відсутністю узагальненого кількісного критерію оптимізації. Як критерій оптимізації параметрів мобільних робочих органів машин та обладнання використовують продуктивність, витрати палива, питому енергомісткість та якість виконання технологічної операції. Кожен із цих показників є важливою, але однобічною характеристикою машини або обладнання. Крім того, параметри робочих органів машин та обладнання, визначені на основі кожного окремого показника, часто мають значення, які знаходяться у зворотній кореляційній залежності, а тому для їх визначення застосовують компромісний підхід, об'єктивність якого часто сумнівна.

**Аналіз останніх досліджень.** Нами встановлено, що на етапі становлення механізованого сільськогосподарського виробництва основним показником роботи машин і обладнання була їх продуктивність. Це забезпечувало вибір найдосконаліших робочих органів для засобів механізації в землеробстві. У міру збільшення дефіцитності енергетичних ресурсів вагомим чинником стала питома енергомісткість машин та обладнання, як відношення витрат палива до обробленої площі для мобільних машин. Значна кількість досліджень базується на використанні статистичних показників оцінки якості роботи машин та обладнання. За параметр оптимізації часто беруть узагальнений показник якості виконання технологічного процесу на основі урахування вагомості декількох показників якості, що характеризують процес. Використанню питомої енергомісткості із урахуванням якісних показників роботи машин і обладнання в наукових дослідженнях не приділяється достатньої уваги, узагальнені кількісні критерії оптимізації не обґрунтовувалися, що звужує об'єктивність оцінки параметрів машин та обладнання.

Оцінити якість виконання машиною або обладнанням технологічної операції означає встановити ступінь наближення дійсних показників якості роботи машини до нормативних. Якість виконання формується на основі показників, що можуть бути виміряні прямим або опосередкованим методом. Перелік основних показників, що встановлюють якість виконання технологічних операцій згідно з агротехнічними та зоотехнічними вимогами, наведено в [1]. Для оцінки якості виконання технологічних операцій машинами і обладнанням використовуються такі показники: рівень досягнення заданих властивостей матеріалом, що обробляється, коефіцієнт варіації як критерій оцінки відхилення від середнього або заданого значення, а також ймовірність перебування показника якості роботи машини або обладнання у заданих межах, як відношення площі обмеженої кривою розподілу і допустимими межами відхилення показника та загальної площі обмеженої кривою розподілу даного показника.

Слід відмітити, що єдиний метод встановлення нормативних агротехнічних та зоотехнічних показників і допусків на них, в основі якого були б економічні критерії доцільності їх дотримання, часто відсутній. Адже логічно, що звуження допуску на агротехнічний або зоотехнічний показник буде виправдано, якщо при цьому буде забезпечено додатковий економічний ефект за рахунок зменшення експлуатаційних витрат або збільшення виробництва та якості продукції у разі роботи на звуженому допуску [2]. Складність полягає також в тому, що більшість агротехнічних та зоотехнічних вимог не конкретизована залежно від природно-кліматичних зон, метеорологічних чинників та видів оброблюваної рослинної сировини, а в деяких випадках характеризується надмірно жорсткими нормативами їх показників. Стосовно останнього професор Ю. К. Кіртбая відзначив, що це приводить до суттєвих труднощів під час проектування машин, до невиправданого ускладнення конструкцій, зниження надійності, масових випадків вибракування машин під час випробувань і врешті до зниження темпів технічного прогресу та збільшення витрат ресурсів.

Якщо якість роботи машин або обладнання характеризується декількома показниками якості, особливо це стосується випадків, коли машина або обладнання у разі порівняння з іншими має переваги щодо одних показників і поступається в інших, їх об'єднують в узагальнений показник на основі експертної оцінки вагомості кожного показника [3]. Комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації для визначення параметрів робочих органів машин та обладнання, має бути прямо пропорційним витратам енергії і обернено пропорційним обсягу виконаних робіт, ймовірності безвідмовної роботи для не відновлюваних об'єктів або коефіцієнту готовності для відновлюваних об'єктів та ймовірності того, наскільки показники якості роботи машин та обладнання відповідають агротехнічним та зоотехнічним вимогам. У цьому разі комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації, повинен набувати мінімального значення [4]. При цьому, витрати енергії на виконання технологічної операції визначаються упродовж заданого часу вимірюванням витрат палива за величиною об'єму для мобільних машин і обладнання. Обсяг виконаних робіт у мобільних процесах визначають за обробленою площею, що також не спричиняє труднощів. Ймовірність безвідмовної роботи машини і обладнання та їх коефіцієнт готовності в технологічному процесі визначається згідно з чинними нормативами [5, 6] під час проведення ресурсних випробувань. Якщо параметри машини чи обладнання визначають на етапі проведення науково-дослідних робіт, то в цьому разі показник ймовірності безвідмовної роботи машини і обладнання (або коефіцієнт готовності) в технологічному процесі можна не враховувати.

Стосовно сепаруючих робочих органів зернозбирального комбайна відомо, що вміст соломи в зерно-соломистому воросі становить від 32 до 40 % від його загальної маси [7].

Згідно з агротехнічними вимогами ОСТ 70.8.1-81, втрата зерна за комбайном має бути не більше 1,5 % (із них не більше 0,75 % має становити втрата зерна за молотильно-сепаруючими робочими органами і не більше 0,75 % – за очисткою), а чистота зерна в бункері комбайна повинна бути не менше 97 %.

При урожайності зерна 47,9 ц/га, вологості зерна 17 % і соломи 19 % та співвідношенні зерна до соломи на висоті зрізу 1:1, втрата зерна за очисткою становили від 0,05 до 0,085 %, а чистота бункерного зерна – від 99,8 до 99,95 % [8].

Таким чином, зменшення витрат енергії на виконання заданого обсягу сільськогосподарських робіт, збільшення продуктивності машин та обладнання, їх показників надійності й рівня відповідності їх показників якості агротехнічним та зоотехнічним вимогам є основними напрямками удосконалення засобів механізації і обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. У зв'язку з цим, порівняння робочих органів однотипних машин і обладнання в технологічному процесі виробництва або визначення оптимальних параметрів робочих органів окремої машини чи обладнання доцільно проводити на основі комплексного кількісного показника, що враховує енергетичні показники, показники продуктивності, надійності та якості виконання операцій технологічного процесу.

**Мета досліджень.** Обґрунтувати узагальнений кількісний критерій оптимізації для оцінки роботи зернозбирального комбайна на основі оцінки кінетики процесу сепарації зерно-соломистого вороху.

**Результати досліджень.** Розглянемо формалізацію формування показників якості роботи сепаруючих робочих органів зернозбирального комбайна на основі кінетики процесу сепарації зерно-соломистого вороху. Будемо вважати, що зерно-соломистий ворох складається із соломи, обмолоченого, необмолоченого та пошкодженого зерна. Приймаючи допущення, що швидкість зменшення вмісту кожного компонента у зерно-соломистому воросі під час очистки пропорційна вмісту цього компонента у зерно-соломистому воросі, який знаходиться на очистці (чим менше кількість відповідного компонента у зерно-соломистому воросі, тим менша швидкість зменшення його вмісту у зерно-соломистому воросі), можна записати кінетичне рівняння вмісту кожного компонента зерна в диференційній формі, яке буде мати вигляд:

$$\frac{d(m_i - m_{oi})}{d\tau} = -k_i(m_i - m_{oi}), \quad (1)$$

де;  $m_i$  – поточне значення маси  $i$ -го компонента у зерно-соломистому воросі під час очистки, кг;  $m_{Oi}$  – маса  $i$ -го компонента у зерно-соломистому воросі, яка втрачається з іншими компонентами і не виділяється під час очистки, кг;  $k_i$  – параметр процесу видалення  $i$ -го компонента із зерно-соломистого вороху,  $c^{-1}$ ;  $\tau$  – час очистки зерно-соломистого вороху, с.

Провівши математичні перетворення рівняння (1):

$$\frac{d(m_i - m_{Oi})}{m_i - m_{Oi}} = -k_i d\tau,$$

та інтегрування диференційного рівняння отримаємо:

$$\ln(m_i - m_{Oi}) = -k_i \tau.$$

Враховавши межі зміни маси  $i$ -го компонента в зерно-соломистому воросі від початкового значення до поточного, одержимо однопараметричне рівняння процесу відділення  $i$ -го компонента, яке визначає масу  $i$ -го компонента в зерно-соломистому воросі на поточний момент часу:

$$\frac{\ln(m_i - m_{Oi})}{\ln(m_{Pi} - m_{Oi})} = -k_i \tau; \quad \frac{m_i - m_{Oi}}{m_{Pi} - m_{Oi}} = \exp(-k_i \tau);$$

$$m_i - m_{Oi} = (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau); \quad m_i = m_{Oi} + (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau), \quad (2)$$

де:  $m_{Pi}$  – маса  $i$ -го компонента у зерно-соломистому воросі на початку очистки, кг.

В той же час, маса  $i$ -го компонента виділеного очисткою на поточний момент часу, становить:

$$\begin{aligned} m_{Pi} - m_i &= m_{Pi} - m_{Oi} - (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau) = \\ &= (m_{Pi} - m_{Oi}) [1 - \exp(-k_i \tau)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Привівши масу  $i$ -го компонента виділеного очисткою на поточний момент часу до маси  $i$ -го компонента у зерно-соломистому воросі на початку очистки, одержимо вирази для визначення рівня виділення  $i$ -го компонента із зерно-соломистого вороху на поточний момент часу;

$$\frac{m_{Pi} - m_i}{m_{Pi}} = \frac{(m_{Pi} - m_{Oi})}{m_{Pi}} [1 - \exp(-k_i \tau)]; \quad \text{або } \alpha_i = \alpha_{Pi} [1 - \exp(-k_i \tau)], \quad (4)$$

де:  $\alpha_i = \frac{m_{Pi} - m_i}{m_{Pi}}$  – поточний рівень виділення  $i$ -го компонента із зерно-соломистого вороху в процесі очистки, відн. од.;

$\alpha_{Pi} = \frac{m_{Pi} - m_{Oi}}{m_{Pi}}$  –

максимальний рівень виділення  $i$ -го компонента із зерно-соломистого вороху в процесі очистки, відн. од.

При цьому величина  $(m_{Pi} - m_{Oi})\exp(-k_i\tau)$  є абсолютною втра-  
тою  $i$ -го компонента по завершенню очистки в кг, а величина  
 $\frac{(m_{Pi} - m_{Oi})}{m_{Pi}}\exp(-k_i\tau)$  – відносною втратою  $i$ -го компонента за очисткою

у відн. од. Величина  $\frac{m_{Oi}}{m_{Pi}}$  є відносною втратою  $i$ -го компонента з ін-  
шими компонентами під час очистки у відн. од.

При постійні швидкості руху зерно-соломистого вороху під час  
очистки, час очистки можна замінити співвідношенням довжини ре-  
шета ( $L$ , м) і швидкості руху ( $v$ , м/с) зерно-соломистого вороху. У  
цьому випадку вираз під експонентою для  $i$ -го компонента зерно-  
соломистого вороху можна записати наступним чином:

$$k_i\tau = k_i \frac{L}{v} = \mu_i L, \quad (5)$$

де:  $\mu_i$  – параметр процесу видалення  $i$ -го компонента із зерно-  
соломистого вороху (коефіцієнт сепарації),  $m^{-1}$ .

Таким чином, загальний баланс зерно-соломистого вороху під  
час очистки має вигляд, приведений в табл. 1. У таблицях задіяні  
позначення:  $m_{ПЗ}, m_{ПНЗ}, m_{ППЗ}, m_{ПС}$  – маса обмолоченого, необмолоче-  
ного та пошкодженого зерна і соломи у зерно-соломистому воросі на  
початку очистки, кг;  $m_{ЗС}, m_{НЗС}, m_{ПЗС}, m_{СЗ}$  – маса обмолоченого, необ-  
молоченого та пошкодженого зерна, яка втрачається із соломкою і не  
виділяється під час очистки та маса соломи, яка потрапляє в зерно і  
не виділяється під час очистки, кг.

### 1. Загальний баланс зерно-соломистого вороху під час очистки.

Компоненти	Стадія очистки		
	початок	процес	закінчення
Обмолочене зерно	$m_{ПЗ}$	$m_{ЗС} + (m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$
Солома	$m_{ПС}$	$m_{СЗ} + (m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$
Необмолочене зерно	$m_{ПНЗ}$	$m_{НЗС} + (m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Пошкоджене зерно	$m_{ППЗ}$	$m_{ПЗС} + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$

Характеристика компонентів зерно-соломистого вороху після очистки має вигляд, приведений в табл. 2. Характеристика якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху, приведена в табл. 3.

### 2. Характеристика компонентів зерно-соломистого вороху після очистки.

Компоненти	Назва компонентів та їх склад		
	Зерно	Солома	Необмолочене зерно
Обмолочене зерно	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_3 L)]$	$m_{ЗС}$	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$
Солома	$m_{СЗ}$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times [1 - \exp(-\mu_C L)]$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$
Необмолочене зерно	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_{НЗ} L)]$	$m_{НЗС}$	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Пошкоджене зерно	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_{ПЗ} L)]$	$m_{ПЗС}$	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$

### 3. Характеристика якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху.

Назва показників	Значення показників
Вміст соломи в обмолоченому зерні	$m_{ЗС}$
Вміст необмолоченого зерна в обмолоченому зерні	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) [1 - \exp(-\mu_{НЗ} L)]$
Вміст пошкодженого зерна в обмолоченому зерні	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) [1 - \exp(-\mu_{ПЗ} L)]$
Втрата обмолоченого зерна з соломою	$m_{ЗС}$
Втрата необмолоченого зерна з соломою	$m_{НЗС}$
Втрата пошкодженого зерна з соломою	$m_{ПЗС}$
Кількість необмолоченого зерна на сході з очистки	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Вміст обмолоченого зерна в необмолоченому	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \exp(-\mu_3 L)$
Вміст пошкодженого зерна в необмолоченому	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \exp(-\mu_{ПЗ} L)$
Вміст соломи в необмолоченому зерні	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \exp(-\mu_C L)$

Характеристика узагальнених якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху, приведена в табл. 4.

#### 4. Характеристика узагальнених якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху.

Назва показників	Значення показників
Засміченість обмолоченого зерна (вміст соломи, необмолоченого та пошкодженого зерна в обмолоченому зерні)	$m_{CЗ} + (m_{ПНЗ} - m_{НЗС})[1 - \exp(-\mu_{НЗ}L)] + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС})[1 - \exp(-\mu_{ПЗ}L)]$
Втрата зерна під час очистки (втрата обмолоченого, необмолоченого та пошкодженого зерна з соломою)	$m_{ЗС} + m_{НЗС} + m_{ПЗС}$
Схід компонентів з очистки* (сумарна кількість необмолоченого, обмолоченого та пошкодженого зерна, а також соломи на сході з очистки)	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС})\exp(-\mu_{НЗ}L) + (m_{ПЗ} - m_{ЗС})\exp(-\mu_{З}L) + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС})\exp(-\mu_{ПЗ}L) + (m_{ПС} - m_{СЗ})\exp(-\mu_{С}L)$

\*Даний показник може характеризувати величину повторного обмолоту, при його наявності, і при цьому впливати на оцінку енергомосткості роботи комбайна або збільшувати втрати зерна під час очистки при відсутності повторного обмолоту (при цьому до втрат зерна з соломою під час очистки додається сумарна кількість необмолоченого, обмолоченого та пошкодженого зерна, яке сходить з очистки.

Засміченість обмолоченого зерна доцільно оцінювати у відносних одиницях, привівши її значення до абсолютної величини взятої проби зерна в бункері комбайна, а втрату зерна під час очистки доцільно оцінювати у відносних одиницях, привівши її значення до абсолютної величини урожайності зерна.

**Висновок.** Мінімізація питомої енергомосткості машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи дозволяє визначити оптимальні значення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів машин та обладнання і проводити їх об'єктивну порівняльну оцінку на етапі виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт.

#### Список літератури

1. *Погорельй Л. В.* Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин // *Л. В. Погорельй, В. Я. Анилович.* – К.: Феникс, 2004. – 208 с.
2. *Ляхов Ю. А.* Исследование методов контроля и оценки качества сельскохозяйственных полевых работ: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: Ульяновский сельскохозяйственный институт. Ульяновск, 1973. – 32 с.
3. *Дубровин В. А.* Обоснование технологического процесса и параметров плуга для двухъярусной вспашки под сахарную свеклу: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Глеваха, 1987. – 24 с.



4. Голуб Г. А. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання / Г. А. Голуб // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів, ЛНАУ, 2008. – № 12 (2). – С. 17–24.
5. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники // Л. С. Ермолов, В. М. Кряжков, В. Е. Черкун. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
6. Селиванов А. И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники // А. И. Селиванов, Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
7. Косилов Н. И. Интенсификация сепарирования зернового вороха: автореферат дис. ... д.т.н.: 05.20.01. – Челябинск, 1989. – 43 с.
8. Кузьмич А. Я. Обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючих поверхонь повітряно-решітних очисток комбайнів. – Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. – Глеваха, 2013. – 218 с. – С. 130–132.

*Обосновано выбор критерия оптимизации для определения параметров средств механизации и оборудования в технологических процессах сельскохозяйственного производства.*

***Оптимизация, параметры машин и оборудования, критерии.***

*The choice of criterion for optimization is grounded for determination of parameters of facilities of mechanization and equipment in the technological processes of agricultural production.*

***Optimization, parameters of machines and equipment, criteria's.***

УДК 620.1

## **ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ МЕХАНІКИ ПЕРКОЛЯЦІЙНО-ФРАКТАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ**

***І. Г. Грабар, доктор технічних наук  
Житомирський національний агроекологічний університет  
О. І. Грабар, кандидат технічних наук  
Житомирський державний технологічний університет***

*Показано, що результати, отримані з позицій механіки суцільного середовища, не задовольняють для цілого ряду задач сучасної механіки матеріалів. Для підвищення достовірності результатів пропонується застосовувати моделі механіки перколяційно-фрактальних середовищ. Наведено ряд розв'язків актуальних задач на основі МПФС.*

***Механіка перколяційно-фрактальних середовищ, поріг перколяції, кінцевомірні моделі, фрактальна розмірність.***

© І. Г. Грабар, О. І. Грабар, 2015

**Постановка проблеми.** Механіка перколяційно-фрактальних середовищ (МПФС), на відміну від механіки суцільного середовища (МСС), високо інноваційна галузь науки, народження котрої відбувається на початку 21 століття.

Інноваційний характер розвитку суспільства ставить перед світовою науковою спільнотою небачені темпи залучення у виробництво наукових інновацій. Підвищення режимів технологічних параметрів, зростання зусиль, температур та їх градієнтів, невпинне зростання вимог до функціонального призначення та показників якості продукції вимагають постійного зростання вимог до матеріалознавства, серед найактуальніших задач якого є: композити, кераміки, наноматеріали, матеріалів з наперед заданими властивостями. І для вирішення більшості цих задач необхідно залучення моделей МПФС, так як моделі МСС є надто грубі.

Початок 21 століття знаменується важливими науковими досягненнями на перетині сучасного матеріалознавства, нелінійної динаміки, фізики критичних явищ та синергетики, у вивченні багатофазних перколяційно-фрактальних систем [1-10], що дає потужний імпульс для технологій завтрашнього дня, а саме: виготовлення і застосування матеріалів з наперед заданими властивостями; нових класів надчутливих матеріалів для датчиків і сенсорів; нових класів матеріалів заданої структури; електропровідних перколяційно-фрактальних матеріалів з будь-яким законом зміни електричних властивостей у просторі і часі (під необхідну конфігурацію поля); нових класів перколяційно-фрактальних систем для фазового розділення, фільтрування та очищення газів, рідин на мікро дисперсних сумішей тощо; моделювання та виробництва нових біосумісних пористих покриттів поверхні ґрунту для регулювання газообміну та накопичення вологи тощо.

**Аналіз останніх досліджень.** Створення перколяційно-фрактальних систем – ключовий напрямок сучасного матеріалознавства, бо саме вони мають надзвичайно унікальні властивості для використання в якості адсорбентів (практично необмежена площа поверхні), фільтрів (розвинена структура каналів), сенсорів і датчиків (перколяційно-фрактальні суміші „провідник–діелектрик” з необмеженими можливостями чутливості), біосумісних пористих керамік, регулювання вологи в біодинамічній системі «рослина – ґрунт» [1-10].

До недавнього часу більшість таких задач розглядалися в евклідовій постановці  $R^n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) з позицій суцільних середовищ, хоча в останні роки все більше необхідність вводити ріманові простори, оскільки в новітніх композитах межі між окремими компонентами нечіткі, бо в результаті хімічної, механічної, дифузної взаємодії набувають складної форми і часто не мають кінцевої міри – довжи-

ни, площі, об'єму. В цьому випадку варто говорити про фрактальну природу такої межі. Наприклад, якщо взяти на карті берегову лінію, де берег дуже порізаний (фьорди в Норвегії чи русло р. Прип'ять перед злиттям з Дніпром), і будемо виміряти довжину цієї берегової лінії відрізками довжини  $d$ . Змінюючи  $d$ , ми прийдемо до парадоксального (для евклідової постановки!) результату – сумарна довжина такої лінії буде залежати від „кроку”  $d$  по степеневому закону

$$L(d) = A \times d^{1-D},$$

де:  $A$  – деяка константа розмірності,  $D$  – константа (для наведених прикладів  $1 < D < 2$ ), яка називається фрактальною розмірністю, або розмірністю Хаусдорфа–Безиковича. Звідки витікає, що фрактальна розмірність може бути знайдена із формули:

$$D = -\ln(N(d))/\ln d.$$

Наприклад, для множини Кантора, що будується відкиданням середнього відрізка із кожного, отриманого діленням на три попереднього, починаючи з відрізка  $[0; 1]$ ,  $D = -\ln 2 / \ln 3 = 0,6390$ .

Значний вклад в теорію фракталів внесли Мандельброт, Федер, Шустер, Контор, Хакен, Фейгенбаум та інші. І хоча навіть строго визначення фрактала поки не існує, фрактальні підходи дають дуже гарні результати в багатьох напрямках розвитку науки, мистецтва, і навіть в теорії інформації.

Перколяція – це широке поле для розробки нових алгоритмів, це простий, але могутній інструмент, що дозволяє в єдиному підході вирішувати найрізноманітніші життєві задачі. Теорія перколяції дає нам ключ до розуміння різноманітних фізичних процесів [5-9, 10-12].

Теорія перколяції крокує поруч і багато в чому переплітається з теорією фракталів, з цією областю математичного мистецтва, коли за допомогою найпростіших формул і алгоритмів утворюються картини надзвичайної краси і складності. У контурах побудованих зображень нерідко вгадуються листя, дерева і квіти. Сучасна фізика і механіка тільки починають вивчати поведінку фрактальних об'єктів.

**Мета досліджень.** Розробити теоретичні засади для створення і впровадження моделей механіки перколяційно-фрактальних середовищ, алгоритмів їх розрахунку та отримання узагальнень досліджень в вигляді інженерних співвідношень для конструювання та розрахунку виробів в наближенні МПФС.

**Результати досліджень.** На даному етапі розвитку технологій все частіше постає питання підвищення точності роботи виконавчих механізмів, що, в свою чергу, потребує підвищення чутливості контролюючих пристроїв, датчиків. Важко переоцінити значення побудови та дослідження надчутливих перколяційно-фрактальних датчиків для таких галузей, як машинобудування, робототехніка, медицина, авіаційна та космічна техніка тощо. На основі МПФС проведені тео-

ретичні дослідження природи виникнення з'єднуючого кластера електропровідної компоненти в системі наночастинок «провідник-діелектрик» на кінцевомірних декартових областях розміром  $L \times L$  та  $L \times L \times L$ . На рис. 1 наведені результати комп'ютерного моделювання.

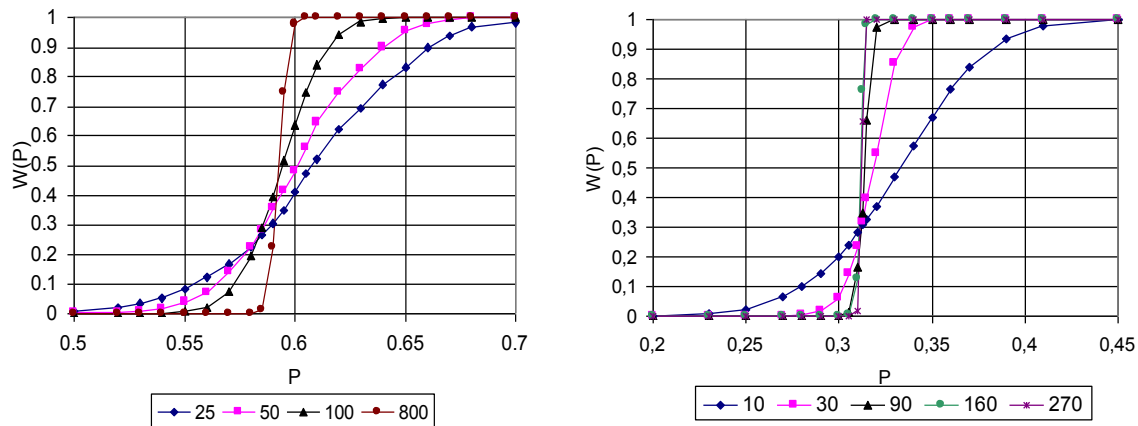


Рис. 1. Результати моделювання виникнення з'єднуючого кластера на кінцевомірних декартових решітках  $L \times L$  та  $L \times L \times L$  [11].

Результати комп'ютерного моделювання показують, по-перше, що на кінцевомірних декартових решітках масштабний фазовий перехід розмивається, і ймовірність виникнення з'єднуючого кластера досить точно описується формулою проф. І. Г. Грабара:

$$W(P) = \frac{1}{1 + \exp[L(P_* - P)]} \quad (1)$$

По-друге, як видно з рис. 1, критична перколяція  $P_*$ , котру за результатами моделювання знаходили з умови:  $P_* = P(W=0,5)$ , також залежить від розміру решітки, причому зменшується при збільшенні розміру області. До речі, при збільшенні розміру області  $L \Rightarrow \infty$  залежність  $W(P)$  все більше наближається до ступінчастої, характерної для критичних явищ. Нами проведено теоретичне дослідження критичної перколяції  $P_*$ , як функції фрактальної розмірності простору  $D$  та отримано функціональну залежність:

$$P_* = 1 - \ln \frac{D+1}{2}, \quad (2)$$

що блискуче підтверджується відомими експериментальними даними (рис. 2) для декартових решіток. Високе значення коефіцієнта кореляції 0,9999 підтверджує достовірність формули (2), що дозволяє говорити про наявність функціонального зв'язку між фрактальною розмірністю простору та порогом перколяції для цього простору. За результатами рис. 1 та формул (1) і (2) отримано: на решітках  $L \times L$  з декартовим розбиттям значення порога перколяції і розмір області з високим значенням тісноти зв'язку описується наступним кореляційним співвідношенням:

$$P_* = 0,5927 + \frac{6,3966}{L^{1,7396}}; r_{1/1}^2 = 0,9736. \quad (3)$$

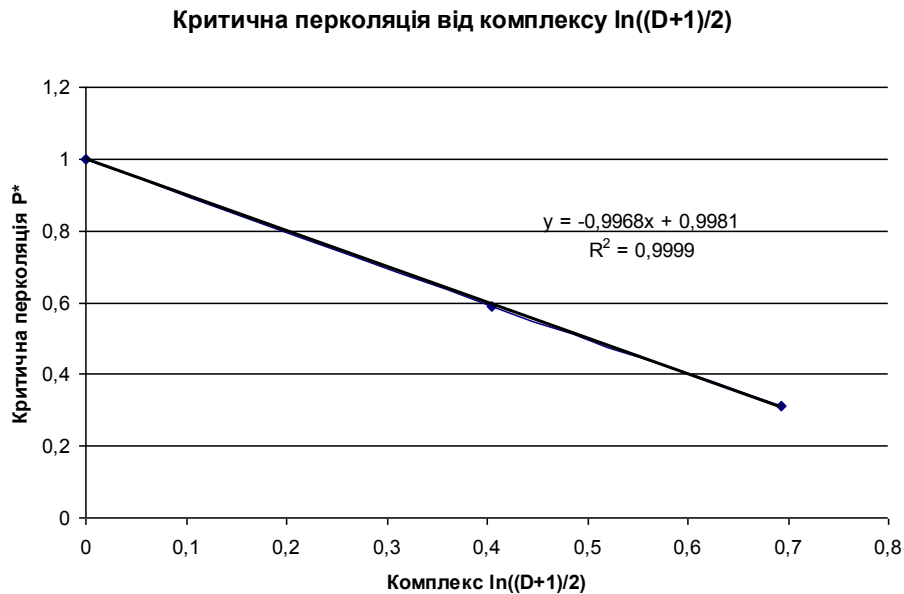


Рис. 2. Результати апроксимації відомих експериментальних значень критичної перколяції від розмірності простору формулою (2).

Відповідно на решітках  $L * L * L$  маємо:

$$P_* = 0,3118 + \frac{0,0104}{e^{0,0185L}}; r_{1/1}^2 = 0,9656. \quad (4)$$

Для конструювання чутливих елементів нами запропоновано ряд інженерних співвідношень. Так, електричний опір перколяційної двокомпонентної суміші „провідник – діелектрик”, закріпленої на плоску деформовану підкладку, можна прогнозувати за формулами проф. І. Г. Грабара:

- для лінійного напруженого стану:

$$\frac{R_\varepsilon}{R_0} = \left[ \frac{1 - P^*}{\frac{P}{(1 + \varepsilon)(1 - \mu\varepsilon)} - P^*} \right]^v. \quad (5)$$

- та для плоского напруженого стану:

$$\frac{R_\varepsilon}{R_0} = \left[ \frac{1 - P^*}{\frac{P}{(1 + \varepsilon - \mu\lambda\varepsilon)(1 + \lambda\varepsilon - \mu\varepsilon)} - P^*} \right]^v. \quad (6)$$

де:  $R_\varepsilon$  – електричний опір перколяційної суміші мікрочастин „провідник – діелектрик” при ймовірності  $P$  заповнення провідникової компоненти та при деформації  $\varepsilon$ ,  $R_0$  – електричний опір провідникової

компоненти,  $P^*$  – поріг перколяції провідникової компоненти,  $\lambda$  – коефіцієнт двовісності навантаження. Аналіз (5) і (6) показує, що при належному підборі концентрації провідникової компоненти – на кілька відсотків більше  $P^*$  – можливо виготовити ПФС-тензодатчика деформації, що матиме чутливість 100-10000, що на 3-4 порядки краще, ніж традиційні тензометричні перетворювачі.

На основі кінцевомірного наближення запропоновано метод оцінки фрактальної розмірності квазіфрактала, та показано, що наночастинки розмірами 10...20 міжатомних відстаней мають розмірність простору менше трьох. І хоча відхилення невелике – в межах 3-7 %, це може суттєво впливати на відхилення процесів, що протікають на нанорівні, в порівнянні з відомими фізичними законами, отриманими для МСС наближень макросистем, а також в змозі пояснити багато феноменів нанотехнологій.

Автори мають надію, що запропоновані постановки задач перколяційно-фрактального матеріалознавства та їх розв'язки знайдуть відгук у зацікавлених осіб – науковців, інженерів, аспірантів і студентів всіх спеціальностей машино- та приладобудування, енергетики, екології, біомедичних напрямків тощо.

### Висновки

1. На основі останніх досягнень в теорії перколяції, теорії фракталів, синергетики, нелінійної динаміки стає можливим в ряді задач МСС запропонувати більш точні моделі МПФС.

2. Отримано ряд розв'язків задач для МПФС та отримано в загальному виді функції ймовірності виникнення з'єднуючого кластера на кінцеврмірних декартових решітках, залежність порога перколяції від розмірності простору (декартове наближення),

3. На основі співвідношення (2) запропоновано альтернативну методологію оцінки фрактальної розмірності квазіфрактала за відомим значенням порога перколяції.

4. Порівняльний аналіз наближень МСС та МПФС моделей наведено в таблиці:

№п/п	Характеристика	МСС	МПФС
1	Питома вага	$\rho = m/V$	$\rho \Rightarrow 0$
2	Площа поверхні	$S = 6a^3$	$S \Rightarrow \infty$
3	Чутливість тензодатчика $\Delta R / R_0$	0,01...0,02	100...1000
4	Критична перколяція для декартового наближення	$R^2$	0,59
		$R^3$	0,31
5	Фрактальна розмірність наночастинки	3	2,6...2,9
6	Конденсація вологи на поверхні	Пропорційна площі поверхні	

## Список літератури

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Ижевск: ИКИ, 2010. – 656 с.
2. Фракталы в физике. Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. – М.: Мир, 1988. – 672 с.
3. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы / М. Шредер. – Ижевск: РХД, 2005. – 528 с.
5. Falconer K. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. – Wiley, 2003.
6. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. (Библиотечка «Квант», вып. 19) / А. Л. Эфрос. – М.: Наука, 1982. – 176 с.
7. Kesten H. Percolation Theory for Mathematicians. – Boston: Birkhauser, 1982. Русский перевод: Кестен Х. Теория просачивания для математиков. – М.: Мир, 1986. – 392 с.
8. D. Stauffer and A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, Taylor and Fransis, London, 1994.
9. A. Bunde, S. Havlin, Percolation I (pp. 51-95), Percolation II (pp. 97-149), in: Fractals and disordered systems, eds. A. Bunde, S. Havlin, Springer, Berlin, 1996.
10. Грабар І. Г. Термоактивційний аналіз та синергетика руйнування / І. Г. Грабар. – Житомир: ЖІТІ. – 2002. – 312 с.
11. Грабар І. Г. Перколяційно-фрактальні матеріали / І. Г. Грабар, О. І. Грабар, О. А. Гутніченко, Ю. О. Кубрак. – Житомир. – ЖДТУ. – 2007. – 354 с.
12. Грабар І. Г. Фрактали і тензори в наукових дослідженнях / І. Г. Грабар, О. І. Грабар. – Житомир: ЖДТУ. – 2007. – 69 с.

*Показано, что результаты, полученные в приближениях моделей механики сплошных сред, не удовлетворяют многим задачам современной механики материалов. Для повышения достоверности результатов предлагается использовать модели механики перколяционно-фрактальных сред. Приведены решения ряда актуальных задач на основе моделей МПФС.*

***Механика перколяционно-фрактальных сред, порог перколяции, конечномерные модели, фрактальная размерность, наноматериалы.***

*Shown that the results obtained in the approximations of the models of continuum mechanics do not satisfy many tasks of modern materials mechanics. To increase the reliability of results is offered to use model mechanics percolation-fractal environments. Are solutions of a number of pressing tasks on the basis of models mechanics percolation-fraktalnih environments.*

***Mechanics percolation-fractal environments, threshold of percolation, finite-dimensional model, fractal dimension, nanomaterials.***

## ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ СЕРІЙНИХ КОНТАКТІВ

**В. В. Козирський, доктор технічних наук**

**І. В. Радько, кандидат технічних наук**

*Представлені результати досліджень структури робочих поверхонь серійних контактів після випробування їх на електроерозійну стійкість.*

**Напилення, плазмотрон, електричний апарат, пускач, вимикач, контактор, контакт-деталь.**

**Постановка проблеми.** Поглиблене вивчення фізичних процесів, які відбуваються на робочій поверхні контактів у процесі експлуатації, створює передумови для дальшої боротьби з електричною ерозією, яка є однією з основних причин руйнування електричних контактів.

**Аналіз останніх досліджень.** Мікроструктура є одним із головних факторів, що впливає на властивості електричного контакту.

Мікроструктура залежить від технології виробництва, властивостей вихідних матеріалів, конструктивних особливостей апарату, енергії електричної дуги, складу навколишньої атмосфери [1, 4, 5].

**Об'єкт досліджень** – контакти комутаційних апаратів, що експлуатуються в електроустановках тваринницьких ферм і комплексів.

**Мета досліджень** – розробити наукові принципи дослідження робочої поверхні контактів методом металографічного та рентгеноспектрального аналізу структури робочих поверхонь композиційних контактних матеріалів.

**Методи досліджень** – проведено металографічний та рентгеноструктурний аналіз робочих поверхонь серійних контактів після випробування їх на електроерозійну стійкість.

**Результати досліджень.** На рис. 1 приведена вихідна мікроструктура контактного матеріалу типу СrН-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після  $1 \times 10^5$  комутацій.

По мірі наближення до робочої поверхні розміри зерен срібної та нікелевої фази збільшуються, внаслідок термічної дії дуги. Робоча поверхня збіднена срібною складовою, яка випарувалась, оскільки температура випаровування срібла ( $2210^\circ$ ) значно нижча температури випаровування нікелю ( $2730^\circ$ ) (рис. 1).

На робочій поверхні з'являються мілкі пори й раковини, де було срібло й скупчення зерен тугоплавкої складової нікелю.



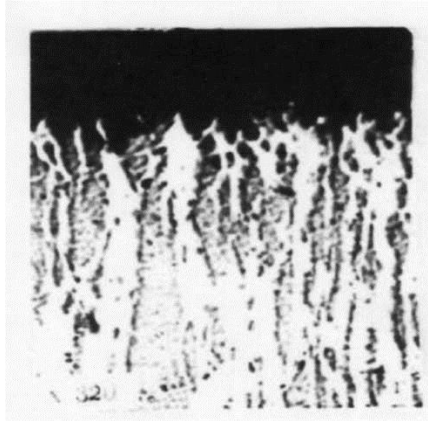


Рис. 1. Мікроструктура рухомого контакту із матеріалу CrH-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після  $1 \times 10^5$  комутацій,  $\times 320$ .

Глибина шару в якому відбуваються мікроструктурні зміни досягає 0,05-0,08 мм. Нікель безпосередньо на контактній поверхні й на глибині до 0,05 мм окислюється.

Під час роботи електричного контакту відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкої складової - срібла з робочої поверхні катоду, внаслідок чого формується дискретна, бугриста поверхня (рис. 2) ступінь шорсткості залежить від сили струму та числа комутацій. На ерозійній поверхні з'явилися крупні виступи, у поглибленнях структури розташовані світлі включення, які по даним рентгеноспектрального аналізу являють собою чисте срібло (3). Хімічний аналіз приповерхневого шару показав, що кількість нікелю на робочій поверхні значно збільшується (від 10 до 20-25%), що свідчить про першочерговість випаровувань срібла з поверхні контакту в процесі комутації електричного струму.

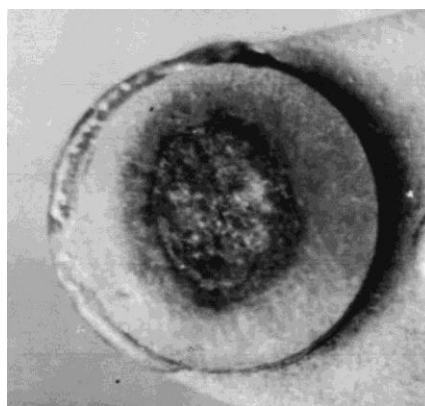
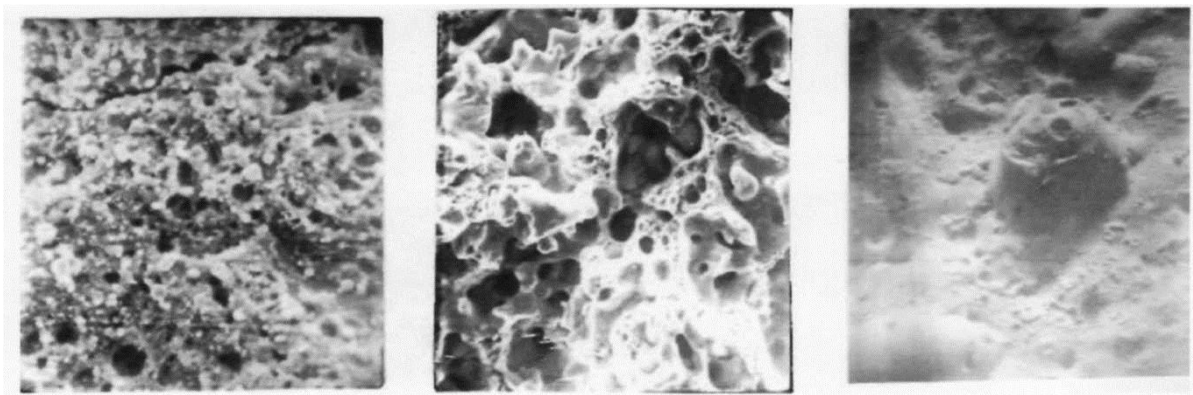


Рис. 2 Зовнішній вид рухомого контакту з матеріалу CrH-10 електромагнітного пускача ПМЛ-1100А після  $1 \times 10^5$  комутацій,  $\times 13$ .

Детальне дослідження робочої поверхні контактів дозволило встановити, що внаслідок дії дуги плавиться не тільки легкоплавка композиція – срібло, але також і зерна нікелю (рис. 3, а), що підтвер-

джується наявністю характерних ступенів затвердіння по краям нікелевих зерен (рис. 3, б). Загуслі зерна нікелю мають форму конуса, що типowo для мостикового переносу (рис. 3, в).



а) x85

б) x300

в) x400

Рис. 3. Електронно-мікроскопічні знімки поверхні контактів SrNi-10 після  $1 \times 10^5$  комутацій.

Отримані результати дають змогу стверджувати, що контактування в останній момент здійснюється по точках тугоплавної складової, яка й визначає нахил матеріалу до зварювання.

Найнижчою електроерозійною стійкістю володіють контакти з матеріалу SrM-0,2 [1], хімічний склад якого відповідає: Cu – 0,1-0,5 %; Ni – 0,005-0,2 %, Ag – решта [2].

При комутації струму 4; 6,3; 10 А контактами із цього матеріалу спостерігається обгоряння та оплавлення робочих поверхонь контактів. Металографічний аналіз показав, що в процесі роботи мікроструктура поверхневих шарів суттєво змінюється.

Із рис. 4 видно, що при комутації струму матеріал, який переноситься на нерухомий, нагрівається до температури кипіння, частково переноситься на поверхню більш холодного нерухомого контакту, а решта осідає знову на поверхню рухомого, утворюючи порожнини (на рис. 4 чорні кратери) і стовпчасті зерна перпендикулярні до робочої поверхні контакту.

Мікроструктура нерухомого й рухомого контакту різна по своїй будові. На рис. 5 поверхня аноду покрита дрібними зернами парів металу катоду, які кристалізувались при гасінні електричного розряду [5]. Також на поверхні, де осіли пари металів, можна бачити збільшені зерна срібла, що утворилися внаслідок рекристалізації під дією температури парів металу.

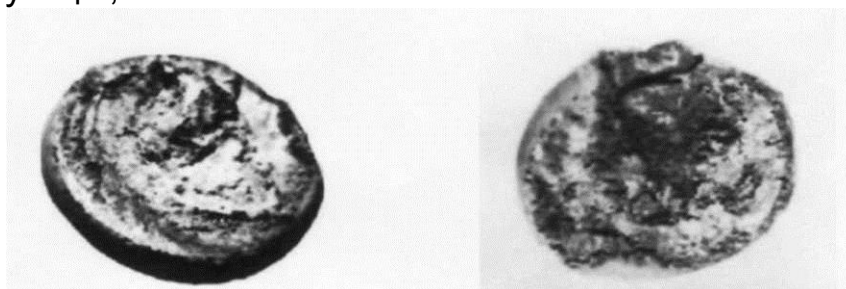
При комутації постійного струму відбувається направлений перенос матеріалу з рухомого контакту на нерухомий. Внаслідок цього на катоді утворюється кратер, а на аноді виступ.



Рис. 4 Мікроструктура контакту із матеріалу CrM-0,2 після  $1 \times 10^5$  комутацій,  $\times 200$ .



Рис. 5 Мікроструктура аноду контакту з матеріалу CrM-0,2 після  $1 \times 10^5$  комутацій,  $\times 200$ .



а)  $\times 7$

б)  $\times 7$

Рис. 6. Зовнішній вигляд контактів із матеріалу CrM-0,2 електромагнітного пускача ПМЛ-1100В після  $1 \times 10^5$  комутацій ( $I=6,3A$ , а – анод, б – катод).

### Висновки

1. Визначена структурна схема керування кінетикою утворення фізико-механічних властивостей, відновлення зношених поверхонь контакт-деталей електричних апаратів. Частинки матеріалу розподіляються по діаметру круга, а товщина покриття визначається згідно розподілу Гауса.

2. Встановлені функціональні залежності впливу сили струму, характеру навантаження, параметрів навколишнього середовища, фізико-механічних властивостей матеріалу (температура плавлення, твердість і тлі.) на процеси руйнування робочих поверхонь контактів та показники надійності контактування.

### Список літератури

1. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей / Г. В. Буткевич. – М.: Энергия, 1973. – 172 с.
2. ГОСТ 403-73. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов.
3. Намитков К. К. Испытания аппаратов низкого напряжения / К. К. Намитков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
4. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 196 с.
5. Экспериментальные и теоретические исследования по созданию нового поколения магнитных пускателей на токи до 160 А. – Чебоксары: Наука, 1989. – 115 с.

*Представлены результаты исследований структуры рабочих поверхностей серийных контактов после испытания их на электроэрозионную устойчивость.*

***Напыление, плазмотрон, электрический аппарат, пускатель, выключатель, контактор, контакт-деталь.***

*The results of studies of working surfaces' structure of serial contacts after electroerosion sustainability testing are presented.*

***Spraying, plasma, electrical apparatus, switch, contactor, pin-details.***

УДК. 631.334

### ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ГЛИБОКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

***П. М. Кухаренко, кандидат технічних наук  
Дніпропетровський державний аграрно-економічний  
університет***

*Запропоновані напрямки зменшення енергоємності глибокого обробітку ґрунту.*

***Агрегат, засіб, енергонасиченість, ротаційні органи.***

© П. М. Кухаренко, 2015

**Постановка проблеми.** Аналіз стану та тенденцій розвитку засобів механізації рослинництва дозволяє зробити висновок, що сучасні технології виконання механізованих робіт за допомогою машинно-тракторних агрегатів є достатньо енергоємні. Сучасний етап розвитку енергетичних засобів характеризується завершенням тягової і зародженням нової, тягово-енергетичної концепції відповідно до якої трактор є вже тягово-енергетичним засобом. Ріст потужності двигуна останнього не супроводжується при цьому відповідною зміною його експлуатаційної маси. Створення відповідних сільськогосподарських машин для роботи з тягово-енергетичними засобами в рамках тягово-енергетичної концепції на сьогодні суттєво відстає. Перспективним напрямом зниження енергоємності обробітку ґрунту, за неодмінної умови забезпечення якості рихлення відповідно до вимог технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур, є застосування енергозберігаючих принципів дії на нього.

**Аналіз останніх досліджень.** Енергоємність технологічних сільськогосподарських операцій в значній мірі визначається експлуатаційними властивостями машин і режимами роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) [4]. Більшість сучасних ґрунтообробних робочих органів машин побудовано за тяговою концепцією: різання, переміщення та розпушування шару ґрунту здійснюється за рахунок поступального руху машини [3]. При цьому основним принципом дії робочих органів на ґрунтовий шар є принцип стискування, який є найбільш енерговитратний. Для того, щоб розкришити ґрунтовий пласт на структурні компоненти згідно агротехнічних вимог, ґрунтообробні агрегати повинні мати робочі швидкості вище 4 м/с. А це, крім усього іншого, ще більше збільшує енергетичні витрати [3]. Тому можна розглянути альтернативний напрям розвитку тракторо- і сільськогосподарського машинобудування, що обґрунтовує необхідність заміни трактора- тягача, при підвищенні його енергоначищеності, на трактор тягово-енергетичної концепції і створення на його основі тягово-приводних машинно-тракторних агрегатів, що потребує розробки принципово нових робочих органів для глибокого обробітку ґрунту [4]. Покращити енергетичний ККД ґрунтообробних машин можливо за рахунок використання активних робочих органів ротаційного типу [5]. В загальному випадку опір ґрунту різанню ротаційними робочими органами виражається наступною залежністю [5]:

$$P = f(\sigma, \tau, \rho, \rho, W, a, b, s, v, v_0, v_a), \quad (1)$$

де:  $\sigma, \tau$  – граничні напруження розтягуванню (стискуванню і зсуву);  $\rho, \rho, W$  – щільність, твердість і вологість ґрунту;  $a, b, s$  – глибина, ширина і подача на ніж;  $v, v_0, v_a$  – поступальна, колова і абсолютна швидкість різання.

**Мета досліджень.** Дослідити напрямки зниження енергоємності обробітку ґрунту шляхом застосування енергозберігаючих принципів дії на нього.

**Результати досліджень.** При розв'язку проблеми була здійснена оцінка можливості застосування для глибокого обробітку ґрунту активних робочих органів ротаційного типу з вертикальною віссю обертання, що здійснює переміщення в вертикальній площині. При цьому машинно-тракторний агрегат здійснює покрокове переміщення по полю з зупинкою, для приводу робочих органів та глибокого обробітку ґрунту. Для комплектування машинно-тракторних агрегатів залучаються трактори тягово-енергетичної концепції з високим рівнем енергонасиченості та меншою експлуатаційною масою.

В загальному випадку опір ґрунту різанню такою ротаційною машиною можливо виразити наступною залежністю:

$$P = f(\sigma, \tau, \rho, \rho, W, b, s, v_0), \quad (2)$$

де:  $s$  – подача на робочу кромку в вертикальній площині.

Скористаємося загальним законом опору при технологічних процесах розроблених В. П. Горячкиним [1], згідно якого опір ротаційних робочих органів може бути представлений сумою опорів:

$$P = P_m + P_p + P_{від}. \quad (3)$$

де:  $P_m$  – опір тертя ротаційних ножів об ґрунт;  $P_p$  – опір різанню стружки;  $P_{від}$  – опір на придання швидкості стружці.

По даним Ю. С. Леонтьєва [2], сили тертя ротаційних робочих органів мають незначну величину, тому ними при наближених розрахунках можна знехтувати.

Опір різанню стружки можна представити залежністю:

$$P_p = k_p \delta_c l_k, \quad (4)$$

де:  $k_p$  – коефіцієнт питомого опору різанню ґрунту;  $\delta_c$  – середня товщина стружки;  $l_k$  – довжина ріжучої кромки.

$$l_k = r_2 / \cos \beta, \quad (5)$$

де:  $r_2$  – радіус гвинтової поверхні ротаційного робочого органу;  $\beta$  – кут нахилу гвинтової поверхні до горизонталі;  $P_{від}$  – опір на придання швидкості стружці при відкиданні в розробленому робочому органі відсутній.

Під час роботи робочого органу, зрізана стружка рухається по гвинтовій поверхні зазнаючи сили опору тертя ( $P_m$ ). В загальному випадку опір ґрунту різанню робочими органами ротаційного типу з вертикальною віссю обертання, що здійснює переміщення в вертикальній площині, можливо виразити наступною залежністю:

$$P = P_m + P_p. \quad (6)$$

де:  $P_p$  – сили опору тертя по гвинтовій поверхні робочого органу.

Усунення впливу глибини обробітку та поступальної швидкості руху дає можливість значно знизити енергетичні витрати на глибокий обробіток ґрунту. В результаті пошукових робіт розроблена конструктивно-технологічна схема машини, яка має активні робочі органи ротаційного типу з вертикальною віссю обертання, що здійс-

нують переміщення в вертикальній площині. Використання таких машин дає можливість здійснювати всі види обробітку ґрунту (від мілкого до глибокого) з пошаровим різанням з ударом без поступального руху. Такий вид взаємодії робочого органу з ґрунтом забезпечує значне зменшення зусилля на кришення та формування відповідного агрегатного стану ґрунту. При цьому здійснюється локальний обробіток. Використання енергозберігаючих принципів дії робочого органу машини на ґрунт значно знижує енергоємність процесу обробітку ґрунту.

### **Висновки**

1. Усунення впливу глибини обробітку та поступальної швидкості руху дає можливість значно знизити енергетичні витрати на глибокий обробіток ґрунту.

2. Ротаційного робочі органи з вертикальною віссю обертання, що здійснюють переміщення в вертикальній площині забезпечують пошарове різання ґрунту з ударом без поступального руху.

3. Використання енергозберігаючих принципів дії робочого органу машини на ґрунт значно знижує енергоємність процесу обробітку ґрунту.

### **Список літератури**

1. Горячкин В. П. Теория барабана / В. П. Горячкин // Собр. соч.: В 3 т. – М.: Колос, 1965. Т.3. – 304 с.
2. Леонтьев Ю. С. Исследование работы ротационного плуга РП-190 в условиях Северного Зауралья: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. С. Леонтьев. – Челябинск, 1969. – 24 с.
3. Надикто В. Т. Колійна та мостова система землеробства [Текст] // В. Т. Надикто, В. О. Улексін : монографія. – Дніпропетровськ: Наука, 2008. – 269 с.
4. Надикто В. Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в земліробстві [Текст] / В. Т. Надикто, М. Л. Крижичківський, В. М. Кюрчев, С. Л. Абдула. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – 337 с.
5. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины: Теория, расчет, результаты испытаний: монография / В. И. Ветохин, И. М. Панов, В. А. Шмонин, В. А. Юзбашев. – К.: Феникс, 2009. – 264 с.

*Предложены направления снижения энергоемкости глубокой обработки почвы.*

***Агрегат средство, энергонасыщенность, ротационные органы.***

*Directions to reduce energy intensity of deep tillage.  
Machine tool, energy saturation, rotary parts.*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК

*И. В. Морозов, доктор технических наук  
В. И. Морозов, кандидат экономических наук  
Э. В. Ольховский, магистр*

*Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*В статье представлены результаты исследований по обоснованию опорной плоскости наральниковых сошников.*

*Эффективность, зерновые сеялки, параметры сошников.*

**Постановка проблемы.** Посев занимает ведущее место в системе агротехнических мероприятий. От его проведения зависит качество всходов, рост и урожай. Высокая всхожесть – не только борьба за нормальный расход посевного материала, это в то же время борьба за здоровые, ровные и сильные растения, вырастающие из данных семян [1, 2]. Любое воздействие на почву, в том числе и посев, это, прежде всего, средство изменения ее плотности. В данном случае плотности посевного слоя почвы. Изменение плотности, в свою очередь, отражается на всём комплексе физических условий: на ее водном, воздушном и тепловом режимах и, следовательно, на условиях биологической активности.

По мнению А. В. Дружченко [3] увеличение полевой всхожести при уплотнении почвы происходит за счет улучшения гидротермического режима, контакта семян с почвой, что приводит к быстрому набуханию семян и к сокращению периода «посев - всходы».

**Анализ последних исследований.** Качество работы сошников определяется степенью выполнения ими агротехнических требований. Современные требования к сошнику можно сформулировать следующим образом:

- формировать бороздку для семян с уплотнённым ложе и шероховатой его поверхностью. При этом не выворачивать на дневную поверхность влажные нижние слои почвы, чтобы не иссушить ее;
- высеваемые семена должны равномерно распределяться на уплотненное ложе, по площади и в одном заданном односантиметровом горизонтальном слое;
- закрывать семена влажной уплотненной в оптимальных пределах почвой;



- противоэрозионные сошники должны на поверхности поля оставлять более крупные противоэрозионно устойчивые почвенные частицы.

При движении сошника в почве формируется определенный профиль бороздки, отбрасывается или заклинивается вглубь почва, уплотняется или нет ложе для семян, создается определенная шероховатость дна бороздки, сошник устойчиво движется или совершает всплывания и заметные колебания в продольно-вертикальной плоскости. На все эти перечисленные операции в основном влияют форма и параметры лобовой поверхности сошника и в особенности, значительное влияние на технологический процесс оказывает передний угол (вхождения в почву), форма и параметры его опорной плоскости, действующая сила тяжести. Шероховатая поверхность ложа для семян формируется наличием гребенки на опорной плоскости и ее параметрами. На формирование бороздки влияет ширина сошника. Равномерность распределения семян в почве зависит от процесса бороздообразования, который в свою очередь является функцией параметров сошника, описанных выше.

Основоположник земледельческой механики и науки о сельскохозяйственных машинах акад. В. П. Горячкин [4] создал классическую теорию клина, применимую не только к работе плужных корпусов и другим почвообрабатывающим рабочим органам, но и к сошникам. Разработками показано, что сущность взаимодействия почвы с клином состоит в уплотнении, скалывании и последующем ее перемещении. Схематически сошник представляет собой двугранный клин, взаимодействующий с почвой.

**Результаты исследований.** Опорная плоскость сошника играет существенную роль в технологическом процессе, так как от ее формы и параметров зависит степень уплотнения дна борозды, глубина погружения и устойчивость хода сошника в продольно-вертикальной плоскости.

Рядом исследователей и нашими разработками установлено, что создание шероховатой поверхности уплотненного ложа для семян улучшает равномерность их распределения по площади [5-7].

По данным В. Ф. Семенова [8] при косом ударе семян о клиновую поверхность неравномерность их распределения улучшается в несколько раз, а при вертикальном падении в клиновую бороздку перераспределение отсутствует.

Результаты исследований по влиянию состояния поверхности дна борозды на перераспределение семян подтверждены также А. Т. Коробейниковым [9] и С. И. Шматом [10].

Для нахождения условий создания оптимальной плотности ложа для семян рассмотрим взаимодействие сошника с почвой.

Моделируя процесс взаимодействия сошника с почвой (рис. 1) можно составить уравнения проекций сил их взаимодействия:

$$F + R \cos \varphi - P \cos \lambda = 0, \quad (1)$$

$$P \sin \lambda + R \sin \varphi - G = 0 \quad (2)$$

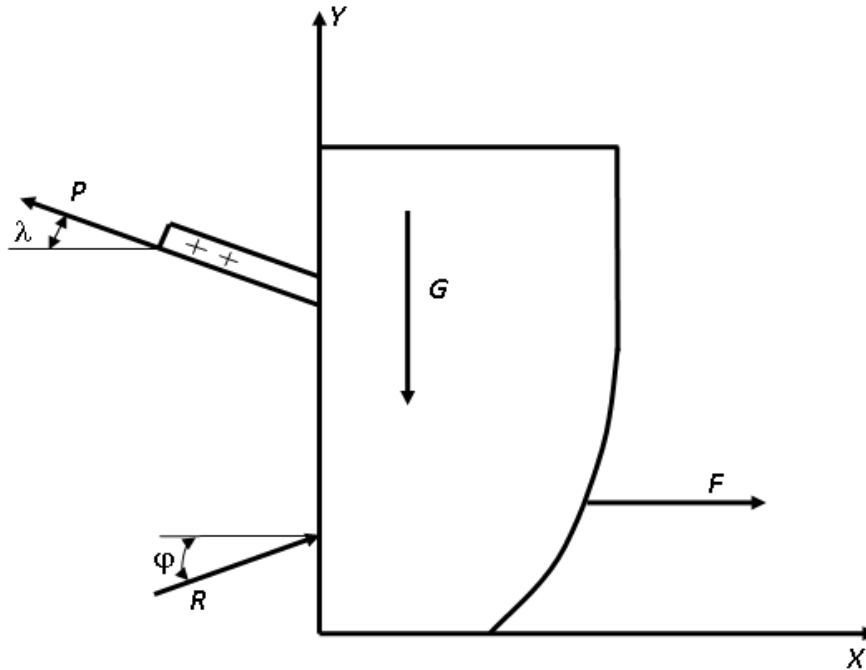


Рис. 1. Схема сил взаимодействия сошника с почвой.

Вертикальное давление на почву определяли из (2):

$$G = P \sin \lambda + R \sin \varphi, \quad (3)$$

где:  $F$  – сила трения;  $R$  – сопротивление почвы движению сошника;  $P$  – сила тяги;  $G$  – сила тяжести сошника;  $\lambda$  – угол наклона силы тяги к горизонту;  $\varphi$  – угол внешнего трения почвы по рабочей поверхности сошника.

Уравнение показывает, что вертикальное давление сошника на почву зависит от величин и направлений сил тяги и сопротивления почвы, а также ее физико-механических свойств. Сопротивление почвы зависит от поперечного сечения сошника, глубины его хода и состояния почвы, оно определяется из равенства:

$$R = b \cdot h \cdot P_{\text{уд.}}, \quad (4)$$

где:  $b$  – ширина сошника;  $h$  – глубина хода сошника;  $P_{\text{уд.}}$  – удельное сопротивление почвы.

Если принять:  $b=2 \text{ см}$ ;  $h=8 \text{ см}$  и  $P_{\text{уд.}}=4-5 \text{ Н/см}^2$  что соответствует удельному сопротивлению почвы, подготовленной к севу, то подставляя эти значения в формулу (4), получим, что  $R=64-80 \text{ Н}$ . Вертикальное давление сошника должно быть таким, чтобы создавать оптимальную плотность ложа для семян. Например, серийные анкерные сошники с острым углом вхождения в почву имеют тенденцию

к заглоблению, еще и потому, что они опираются на точку или линию, в поперечном сечении, представляющую, как правило, клин. Из-за этого такие сошники имеют большое удельное давление и очень восприимчивые к изменению состояния почвы, что сопровождается чрезмерным колебанием их в продольно-вертикальной плоскости, вызывающим негативные последствия.

Если реально у наральниковых сошников  $G=30-50H$ , то для получения плотности ложа в  $1,1-1,3 \text{ г/см}^3$ , что соответствует оптимальной плотности для прорастания семян и развития культурных растений большинства сельскохозяйственных культур и твердости почвы  $4-5 \text{ Н/см}^2$ , необходимо иметь опорную плоскость сошника в пределах  $7,5-10 \text{ см}^2$ . Для этого требуется кроме обеспечения вертикального давления для создания оптимальной плотности почвы, еще и чтобы сошник опирался на плоскость, соответствующей величины. Кроме величины опорной плоскости сошника существенную роль на технологический процесс оказывает и форма опорной плоскости, ее наклон. С учетом того, что мы рекомендуем боковые щеки устанавливать вертикально, исходя из этого, ширина опорной плоскости обуславливается размером сошника, а длина – общей оптимальной ее площадью. Для проверки теоретических разработок нами были проведены полевые эксперименты (табл. 1).

### **1. Влияние параметров сошников на равномерность распределения семян по глубине.**

Сошники	Скорость сеялки	Показатели равномерности				
		$\bar{X}$ , мм	$\sigma$ , мм	V, %	$m$ , мм	P, %
Экспериментальный	0,78	62,0	3,0	4,9	0,5	0,9
	1,9	48,4	3,9	8,0	0,6	1,3
	2,65	45,0	3,9	8,6	0,7	1,1
Серийный килевидный	1,9	46,0	7,0	20,3	1,2	2,6
	0,78	48,0	8,8	18,4	1,4	3,0
	2,65	26,0	7,2	27,8	1,0	3,7
Серийный анкерный	0,78	93,0	11,5	12,5	1,9	2,0
	1,9	73,5	10,5	14,3	1,5	2,0
	2,65	54,0	9,2	17,1	1,0	1,9

По таблице видно, что анкерный сошник, который не имеет опорной плоскости, укладывает семена не на уплотнённое ложе и на глубину  $93,0 \div 54,0$  мм.

### **Выводы**

На основании результатов выполненных исследований можно заключить, что сошник должен опираться на наклонную плоскость, понижающуюся назад и заканчивающуюся гребенкой (а.с. №398200) [11]. Размеры этой плоскости должны быть достаточными для обеспечения оптимальной плотности ложа для семян. Чрезмерно боль-

шая опорная плоскость не даст возможности заглубляться сошникам на твердых почвах. Гребенка необходима для создания шероховатой поверхности ложа для семян, что способствует более равномерному их распределению на дне бороздки.

### Список литературы

1. Кулешов Н. Н. Пути к высокой всхожести / Н. Н. Кулешов / (Иркутск). Вост. – сиб. краевое издательство, 1936. – С. 43–46.
2. Кулешов Н. Н. Влияние глубины заделки семян на развитие и форму “Корня” свеклы / Н. Н. Кулешов, В. П. Рабинович // Харьков, 1925. – 43 с.
3. Дружченко А. В. Влияние плотности посевного слоя почвы на ее физические свойства, рост растений и урожай полевых культур на мощном тяжелосуглинистом черноземе Харьковской области / А. В. Дружченко. Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.20.01 / Харьков, 1968. – 21 с.
4. Горячкин В. П. Общие принципы испытания сельскохозяйственных машин и орудий / В. П. Горячкин / Собрание сочинений, том 4. – М.: Сельхозгиз, 1940. – 250 с.
5. Павлов В. К. Исследование движения семян в сошнике и бороздке применительно к скоростным сеялкам точного высева / В. К. Павлов. Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.20.01 / Воронеж, 1971. – 23 с.
6. Трушин В. Ф. Влияние на урожай формы поверхности, конструкции пахотного слоя и ложа для семян на оподзоленном и выщелоченном черноземах / В. Ф. Трушин. Автореф. дисс... доктора с.-х. наук / М., 1965. – 52 с.
7. Бузенков Г. М. Оценка качества работы сошников / Г. М. Бузенков, В. Н. Рыбаков // Мех. и эл. соц. с. х. – 1970. – №12. – С. 51–54.
8. Семенов А. Н. Зерновые сеялки / А. Н. Семенов. – М. - Киев: Машгиз, 1959. – 381 с.
9. Коробейников А. Т. Исследование процессов точного высева семян сахарной свеклы. Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.20.01 – Краснодар, 1967. – 23 с.
10. Шмат С. И. Исследование аппаратов точного высева семян сахарной свеклы на повышенных скоростях / С. И. Шмат. Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.20.01 / Воронеж, 1970. – 24 с.
11. А.с. 398200 СССР, М. Кл. А01С 7/20. Сошник / А. Н. Семенов и И. В. Морозов (СССР). – №1742123/30-15; Заявлено 31.1.1972; Оpubл. 27.IX.1973. Бюл. №38. – 2 с.

*У статті представлені результати досліджень по обґрунтуванню опорної площини наральникових сошників.*

***Ефективність, зернові сівалки, параметри сошників.***

*In paper the presented results of feasibility studies supporting plane drill coulter.*

***Efficiency, corn seeder, parameters of coulter.***

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ГРУНТУ ДО СІВБИ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ СУЧАСНИМИ АГРЕГАТАМИ**

***М. П. Волоха, докторант  
Національний авіаційний університет***

*В статті приведені результати порівняльних польових експериментальних досліджень сучасних агрегатів для проведення передпосівного обробітку ґрунту перед сівбою буряків цукрових за інтегральним показником – польовою схожістю насіння. Пропонується нова геометрична модель робочої поверхні ґрунтообробного знаряддя, що за даними експериментів переважає робочі органи культиватора УСМК-5,4Б.*

***Буряк цукровий, технологічний процес, передпосівний обробіток ґрунту, сівба, польова схожість насіння.***

**Постановка проблеми.** Передпосівний обробіток ґрунту (ПОГ) призначений для розпушення поверхневого шару до дрібно-грудочкуватого стану на глибину закладання насіння, створення вирівняного ущільненого насінневого ложа та сприятливих умов для проростання насіння, знищення паростків і сходів бур'янів. Водночас передпосівний обробіток ґрунту є складовою частиною єдиного технологічного процесу – сівби буряків цукрових (БЦ), тож здійснюється без розриву в часі перед проходом посівного агрегату.

**Аналіз останніх досліджень.** Нормативами агротехнічних вимог та параметрами Держстандарту передбачено, що середня глибина ПОГ має складати 3-5 см з відхиленнями від заданої до  $\pm 1,0$  см при кількості грудочок діаметром до 25 мм не менше 92 % [1], адже насіння з високим рівнем одноростковості та лабораторної схожості має розміститись у заздалегідь підготовленому ґрунті певної структури, вологості та твердості на заданій глибині посіву (рис. 1) і з рівномірним кроком вздовж рядка. Зазначене має позитивний вплив на рівень польової схожості насіння і одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури. За даними досліджень ІБКіЦБ (В. С. Глуховський, 1982) та Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого (О. А. Маковецький, 1989) такі показники якості виконання ПОГ, як рівномірність заданої глибини і грудочкуватість розпушеного поверхневого шару ґрунту в порівнянні з показниками вологості і температури ґрунту значно вагомніше (11-14 % проти 7-10 %) впливають на інтегральний показник – польову

© М. П. Волоха, 2015

схожість насіння (рис. 2). Разом з цим, дотримання рівномірності глибини обробітку ґрунту сприяє також ущільненню насінневого ложа, а завдяки дрібним фракціям грудочок обробленого поверхневого шару скиби забезпечується якісніше загортання насінин та поліпшується доступ світла до паростків, що також сприяє підвищенню польової схожості насіння та одночасності появи сходів (рис. 1).

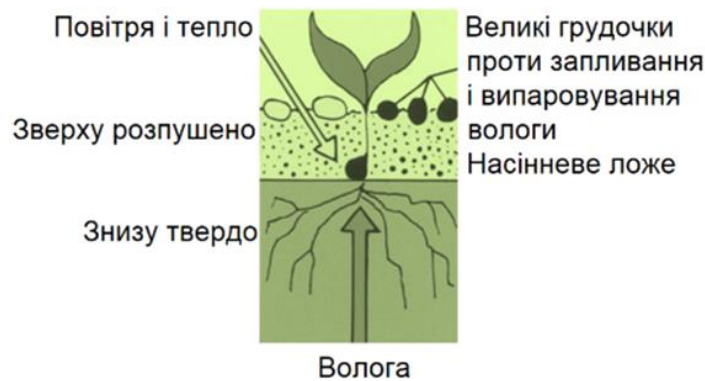


Рис. 1. Схема загортання насінини в ґрунт при сівбі і живлення при проростанні.



Рис. 2. Ступінь впливу (%) основних технологічних факторів на польову схожість насіння (по проф. В. С. Глуховському).

**Метою досліджень** є вивчення впливу основних параметрів технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту на польову схожість насіння і розробка моделі робочої поверхні ґрунтообробного знаряддя.

**Результати досліджень.** Сутністю процесу подрібнення (кришіння) ґрунту є руйнування зв'язків між його частинами (агрегатами) в результаті дії на них поверхонь робочих органів (РО) з подальшим відділенням ґрунтових частинок одна від одної (розпушуванням), тобто кришіння ґрунту – це процес перетворення скиби ґрунту деякого об'єму  $V=abv$  у грудочки, близькі за формою, наприклад, до кулі чи куба [2].

Вираз для визначення роботи, яка витрачається на кришіння заданого об'єму  $V$  ґрунту (П. А. Ребіндер, 1968) після виконання відповідних перетворень має вигляд:  $A = \frac{\pi d_{гр}^2}{4E} \sigma^2 \ln \xi$ , де:  $\xi = d_n / d_{ер}$  – ступінь кришіння ґрунту;  $d_n$  – початковий діаметр грудочки;  $d_{ер}$  – середній діаметр грудочки після розпушування;  $\sigma$  – напруження (тимчасовий опір) ґрунту при стисканні, г/см<sup>2</sup>;  $E$  – модуль пружності, МПа. Отже, робота на подрібнення ґрунту збільшується із збільшенням ступеня його кришіння та тимчасового опору при стисканні і залежить від форми розпушувача. На основі аналізу форм гранних робочих поверхонь розпушувачів ґрунту як західноєвропейського виробництва (фірми LEMKEN, ROPA – Німеччина; WADERSTAG – Швейцарія та ін.) так і українського (УСМК.– 5,4Б, КОЗР – 8,1 та ін.), виконаних у формі загострених зубців голчастого чи долотоподібного типу, і їх спроможностей кришити ґрунт за допомогою різального периметра, утвореного переміщенням у просторі елементарного клина (долота), розроблена геометрична модель робочої поверхні диска ґрунтообробного знаряддя, який відрізняється тим, що поперечний переріз зубців виконаний у вигляді рівнобічної трапеції, а радіальний – прямокутного трикутника, довший катет якого розташований перпендикулярно до осі маточини і перетинається під прямим кутом з більшою основою трапеції [3].

Робочими органами агрегату є послідовно установлені шлейфи-вирівнювачі, здвоєні лапи-бритви, пружинні зуби, пруткові ротори (рис. 4). Ширина захвату 9,0 м, швидкість руху 9–12 км/год.

Для проведення передпосівного обробітку використовується агрегат АРВ-8,1-0,2, який комплектується здвоєними лапами-бритвами, прутковими барабанами-роторами і шлейфами (рис. 5).



Рис. 4. Агрегат АРВ-8,1-01.



Рис. 5. Агрегат АРВ-8,1-02

Зуб запропонованої конструкції, перекочуючись у ґрунті, розтягує оброблювану скибу у повздовжньому напрямку і одночасно стис-

кає у поперечному, створюючи при цьому такий напружено-деформований стан ґрунту, при якому відповідно до теорії Кулона-Мора про баланс стискаючих і розтягуючих деформацій забезпечується підвищення технологічних показників кришіння ґрунтового моноліту і зниження енерговитрат, особливо при роботі на твердих ґрунтах. Порівняльні польові дослідження знаряддя з новими експериментальними РО у складі котка борончастого і серійного культиватора УСМК-5,4Б (контроль), проведені в ДПДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ показали, що експериментальні РО не поступаються серійним, а за щільності ґрунту 1,2-1,3 г/см<sup>3</sup> та низької вологості (16-18,5 %) суттєво їх переважають (у середньому на 4-6% за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту), що забезпечило підвищення польової схожості (рис. 6). У системі технологічних прийомів сучасної вітчизняної інтенсивної технології ранньовесняне розпушення та вирівнювання ґрунту здебільшого поєднують в одну операцію. Для виконання цих робіт за один прохід застосовується сучасний агрегат АРВ-8,1-01 розроблений Укр НДІСГОМ та ІБКіЦБ, що агрегується з тракторами класу 20-30 кН (Т-150, ДТ-75М і новими орно-просапними ХТЗ-121, ХТЗ-16031).

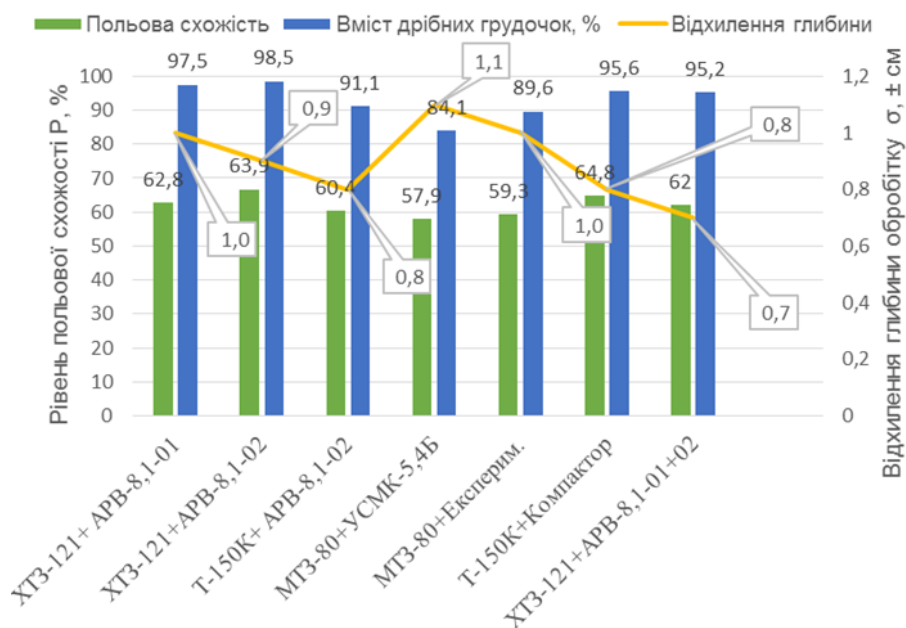


Рис. 6. Залежність польової схожості насіння від глибини обробітку ( $4,0 \pm \sigma$ ) см і вмісту дрібних грудочок ( $\varnothing < 25$  мм).

Дослідженнями технологій за трьома варіантами на Уладово-Люлинецький ДСС ІБКіЦБ встановлено, що проведення підготовки ґрунту перед сівбою БЦ новими агрегатами АРВ-8,1-0,1/0,2/ із застосуванням культиваторів КОЗР-5,4-01/02/ при догляді за посівами забезпечує істотне підвищення урожайності на 2,7-3,4 т/га проти контролю, де використовувались серійні культиватори УСМК-5,4Б [4].



На Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого проводили порівняльні польові дослідження показників якості виконання технологічного процесу ПОГ низкою технічних засобів: сучасними комбінованими агрегатами АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, Компактором «К-600А» (Німеччина), культиватором УСМК-5,4Б (ВАТ «Уманьферммаш») (контроль); визначивши при цьому обсяги енерговитрат [5, 6]. Агрегатували машини з тракторами МТЗ-80, Т-150К і ХТЗ-121, а сівбу проводили сівалкою Мультикорн (Німеччина) після кожного з ґрунтообробних агрегатів. Найвищу польову схожість насіння (лабораторна 80-85 %) 64,8 % ( $НІР_{05} = 0,8 \%$ ) одержали в разі проведення передпосівного обробітку ґрунту Компактором в агрегаті з трактором Т-150 завдяки досягненню найрівномірнішої глибини розпушеного поверхневого шару ґрунту та належному його подрібненню (рис. 6). Проте за продуктивністю цей агрегат був на рівні МТЗ-80+УСМК-5,4Б і більше ніж вдвічі поступався одноопераційним агрегатам, особливо з трактором ХТЗ-121, а витрати пального при цьому зросли вдвічі (рис. 6).

Вітчизняний комбінований агрегат, що складається з АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121, в порівнянні з Компактором (3720 кг) теж матеріалоемкий (3750 кг), але в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год) продуктивність його роботи більша на 2,2 га/год (за рахунок збільшення ширини захвату), а витрати пального менші на 1,7 кг/га. Проте через погіршення рівномірності глибини розпушеного шару і якості розпушування польова схожість насіння істотно знизилась (62,0 % проти 64,8 %).

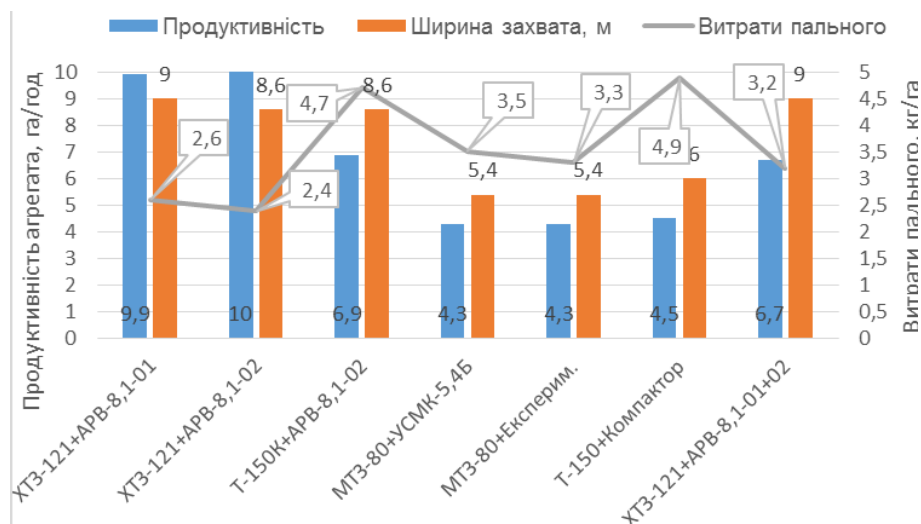


Рис. 7. Залежність продуктивності роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту від ширини захвату і витрат пального.

Найкращі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, хоча за польовою схожістю насіння він децю (0,9 %)

поступається Компактору. Витрати ж пального скорочуються вдвічі, а питома енергонасиченість процесу – втричі [5]. Головною ж перевагою даного агрегату є підвищена продуктивність роботи – 10 га/год, що більше ніж вдвічі порівняно з Компактором чи культиватором УСМК-5,4Б, завдяки чому забезпечується проведення посівних робіт у стислі строки. Таким чином, навіть не посилаючись на ціну Компактора, яка у рази перевищує ціну вітчизняних культиваторів, а керуючись лише результатами агротехнічної і техніко-економічної оцінки, можна зробити висновок про доцільність використання для передпосівного обробітку ґрунту агрегату у складі ХТЗ-121+АРВ-8,1-02.

### **Висновки**

На інтегральний показник двоєдиного технологічного процесу сівби буряків цукрових (передпосівний обробіток ґрунту і висів) - польову схожість насіння суттєво впливає рівномірність глибини його закладання і мілкість грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту над ним.

Серед сучасних машин для передпосівного обробітку ґрунту найвищу польову схожість насіння забезпечує Компактор (Німеччина) в агрегаті з трактором Т-150К. Проте за продуктивністю роботи цей агрегат більше ніж вдвічі поступається вітчизняним одноопераційним АРВ-8,1-01 чи АРВ-8,1-02, агрегатованими з орно-просапним трактором ХТЗ-121, при вдвічі більших витратах пального.

Комбінований агрегат, що складається з навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121 знярядь АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, в порівнянні з Компактором в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год), показує продуктивність роботи більшу на 2,2 га/год, а витрати пального менші на 1,7 кг/га.

Найкращі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, коли витрати пального скорочуються вдвічі, а продуктивність підвищується до 10 га/год, завдяки чому посівні роботи проводяться у значно стигліші строки, підвищується рівень польової схожості насіння і, як наслідок, урожайність культури.

Ґрунтообробне зняряддя з новою робочою поверхнею (патент №47743) не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог, а за щільності ґрунту 1,2-1,3 г/см<sup>3</sup> та низької вологості (16–18,5 %) суттєво його переважає (у середньому на 4-6 % за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту), що забезпечило підвищення польової схожості насіння.

### **Список літератури**

1. *Обробіток ґрунту під цукрові буряки передпосівний*. Вимоги та методи контролювання : ДСТУ 4819:2007. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 9 с. – (Національний стандарт України).

2. Волоха М. П. Моделювання процесу розпушування ґрунту ребром дискового робочого органу / М. П. Волоха, Л. В. Болдирєва // Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта. – Ужгород.: УжНТУ. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 87. – С. 94–98.
3. Патент №47743 Україна, МПК(2009), В08В 9/00. Робочий орган ґрунтообробного знаряддя (диск) / В. П. Юрчук, М. П. Волоха, Л. В. Болдирєва ; заявник і власник Національний авіаційний університет. – № u 2009 08002; заяв. 29.07.2009; опуб. 25.02.2010, Бюл.№ 4.
4. Погребняк С. П. Энергосберегающая интенсивная технология / С. П. Погребняк, В. В. Захарова, Н. П. Волоха // Сахарная свекла. – М.: Колос, 2000. – № 2. – С. 14–16.
5. Волоха М. П. Передпосівний обробіток з найменшими енерговитратами / М. П. Волоха, С.П. Погребняк // Цукрові буряки. – 1998. – № 3. – С. 21–22.
6. Погребняк С. П. Агрегат для предпосевной обработки почвы / С. П. Погребняк, Н. П. Волоха, П. А. Войтюк // Сахарная свекла. – М.: Колос, 2000. – № 4-5. – С. 26–27.

*В статье приведены результаты сравнительных полевых экспериментальных исследований современных агрегатов для проведения предпосевной обработки почвы перед посевом сахарной свеклы по интегральному показателю - полевой всхожести семян. Предлагается новая геометрическая модель рабочей поверхности почвообрабатывающего орудия, которая по данным экспериментов преобладает рабочие органы культиватора УСМК-5,4Б.*

**Свекла сахарная, технологический процесс, предпосевная обработка почвы, посев, полевая всхожесть семян.**

*The paper presents experimental results of comparative testing ground before sowing of sugar beet by the integral indicator - seed germination. The proposed geometrical model of the working surface, which according to the experiments is dominated by the working bodies of the cultivator USMK-5,4B.*

**Sugar beet, technological process, preplant tillage, sowing, field germination of seeds.**

## ОПТИМІЗАЦІЯ КРАЙОВИХ УМОВ РИВКОВОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

*В. С. Ловейкін, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України*

*К. І. Почка, кандидат технічних наук  
Київський національний університет будівництва і архітектури*

*Розроблено конструкцію роликової формувальної установки з кулачковим приводним механізмом та побудовано профіль кулачка для забезпечення комбінованого режиму зворотно-поступального руху формувального візка з ривковим реверсуванням при оптимальних крайових умовах.*

*Роликова формувальна установка, режим руху, реверсування, крайові умови, кулачковий механізм, привод.*

**Постановка проблеми.** В установках роликового формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувальних візків [1-6]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роликовим методом [1-3], до цих пір не було досліджено динаміку руху формувального візка та її вплив на процес формування. Мало приділялось уваги режимам руху формувального візка та зусиллям, що виникають в елементах приводного механізму.

**Аналіз останніх досліджень.** В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1-3]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням та режимам руху, що в значній мірі впливає на роботу установки та на якість готової продукції. Під час постійних пускогальмівних режимів руху виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувального візка, що може привести до передчасного виходу установки з ладу [1-6]. Тому актуальною є задача удосконалення приводного механізму роликової формувальної установки з метою забезпечення такого режиму руху формувального візка, при якому зменшувалися б динамічні навантаження в елементах установки та підвищувалася її довговічність.

**Метою досліджень** є удосконалення конструкції приводного механізму роликової формувальної установки для підвищення її надійності та довговічності за рахунок оптимізації крайових умов процесу реверсування формувального візка.

**Результати досліджень.** Для роликової формувальної установки при ущільненні бетонної суміші бажано мати постійну швидкість зворотно-поступального руху формувального візка на всій ділянці, що позитивно вплинуло б на якість готового виробу. Однак на практиці такий режим руху здійснити неможливо, оскільки в ньому відсутні ділянки розгону та гальмування, без яких не може бути циклічного руху. Тому пропонується реалізувати такий режим руху формувального візка при його переміщенні, у якому були б ділянки реверсування з мінімальними динамічними навантаженнями та ділянки руху з постійною швидкістю. Для плавного процесу реверсування формувального візка запропоновано здійснювати його за оптимальним ривковим режимом руху [7]. При цьому швидкість та прискорення формувального візка змінюються плавно, не створюючи значних динамічних навантажень в установці, що в свою чергу позитивно впливає на її довговічність.

Критеріями режиму руху механізмів і машин можуть бути коефіцієнти нерівномірності руху та динамічності [7]. В даній роботі в якості критерію режиму руху використана критеріальна дія, яка являє собою інтеграл за часом з підінтегральною функцією, що виражає міру руху або дію системи.

Для ривкового режиму реверсування критерій оптимальності руху матимемо у вигляді:

$$I_w = \int_0^{t_p} W dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де:  $t$  – час;  $t_p$  – тривалість реверсування;  $W$  – енергія ривків:

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \ddot{x}^2, \quad (2)$$

де:  $m$  – маса формувального візка;  $\ddot{x}$  – ривок.

Умовою мінімуму критерію (1) є рівняння Пуассона:

$$\frac{\partial W}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial W}{\partial \dot{x}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = 0, \quad (3)$$

де:  $x$ ,  $\dot{x}$ ,  $\ddot{x}$  – координата переміщення, швидкість та прискорення візка.

З виразу (3) можна записати:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial W}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = 0; \quad \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \ddot{x}; \quad \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \overset{v}{x} = 0. \quad (4)$$

З останнього рівняння (4) отримуємо диференціальне рівняння та його розв'язки:

$$\begin{aligned}
{}^{VI}x &= 0; \quad {}^Vx = C_1; \quad {}^{IV}x = C_1 \cdot t + C_2; \quad \ddot{x} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3; \\
\ddot{x} &= \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4; \quad \dot{x} = \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t^2 + C_4 \cdot t + C_5; \quad (5) \\
x &= \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t^2 + C_5 \cdot t + C_6,
\end{aligned}$$

де:  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$  – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов.

Розділимо процес реверсування на два етапи: гальмування та пуск. При гальмуванні початковими умовами є:  $t=0: x=-x_1; \dot{x}=\dot{x}_y; \ddot{x}=0$ . Кінцеві умови при гальмуванні:  $t=t_2: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=a$ . Тут  $x_1$  – координата початку процесу гальмування;  $\dot{x}_y$  – швидкість руху візка на усталеному режимі до початку гальмування;  $a$  – прискорення візка в кінці етапу гальмування. Приймаємо, що переміщення візка  $x_1$  на обох етапах однакові, а прискорення візка в кінці етапу гальмування дорівнює його прискоренню на початку пуску. Тоді початковими умовами при пуску є:  $t=0: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=a$ . Кінцеві умови при пуску:  $t=t_n: x=-x_1; \dot{x}=-\dot{x}_y; \ddot{x}=0$ . Розглянемо процес гальмування. Підставивши крайові умови гальмування у рівняння (5), отримуємо:

$$t=0: C_6 = -x_1; C_5 = \dot{x}_y; C_4 = 0; \quad (6)$$

$$t=t_2: \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_2^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_2^3 + \dot{x}_y \cdot t_2 - x_1 = 0; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_2^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_2^2 + \dot{x}_y = 0; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_2^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_2^2 + C_3 \cdot t_2 = a. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримуємо постійні інтегрування  $C_1, C_2$  та  $C_3$ :

$$C_1 = \frac{60 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)}{t_2^3}, \quad C_2 = \frac{24 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right)}{t_2^2}, \quad C_3 = \frac{3 \cdot \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)}{t_2}. \quad (8)$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (6) та (8) у систему (5) отримуємо функцію зміни ривка формувального візка в процесі гальмування від усталеної швидкості  $\dot{x}_y$  до повної зупинки:

$$\ddot{x} = 30 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^3} + 24 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right) \cdot \frac{t}{t_2^2} + 3 \cdot \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{1}{t_2}, \quad (9)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{3}{t_2} \cdot \left[ 10 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + 8 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \right]. \quad (10)$$

Після цього критерій оптимальності руху в процесі гальмування

з урахуванням виразів (2) та (10) матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 I_{W_2} &= \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_2} \ddot{x}^2 dt = \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_2^2} \cdot \int_0^{t_2} \left[ 10 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + 8 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \right. \\
 &\quad \left. + \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \right]^2 dt = \\
 &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_2^2} \cdot \int_0^{t_2} \left[ 100 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_2^4} + 64 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \right. \\
 &\quad + \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)^2 + 160 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right) \cdot \frac{t^3}{t_2^3} + \\
 &\quad + 20 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \\
 &\quad \left. + 16 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right) \cdot \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right) \cdot \frac{t}{t_2} \right] dt = \\
 &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_2} \cdot \left[ 20 \cdot \left( 12 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)^2 + \frac{64}{3} \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} - a - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} \right)^2 + \left( 20 \cdot \frac{x_1}{t_2^2} - 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_2} + a \right)^2 + \right. \\
 &\quad + 40 \cdot \left( 186 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_2^3} - 27 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_2^2} + 14 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_2} - 180 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^4} - 48 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^2} - a^2 \right) + \\
 &\quad + \frac{20}{3} \cdot \left( 240 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^4} - 264 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_2^3} + 32 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_2^2} + 72 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^2} - 18 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_2} + a^2 \right) + \\
 &\quad \left. + 40 \cdot \left( 340 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_2^3} - 35 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_2^2} + 20 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_2} - 300 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^4} - 96 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^2} - a^2 \right) \right] = \\
 &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_2} \cdot \left[ 80 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^4} + \frac{64}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^2} + a^2 - 80 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_2^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_2^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_2} \right]. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Розглянемо процес пуску. Підставивши крайові умови пуску у рівняння (5), отримуємо:

$$t=0: C_4 = a; C_5 = 0; C_6 = 0; \quad (12)$$

$$t = t_n: \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_n^2 = -x_1; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_n^2 + a \cdot t_n = -\dot{x}_y; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_n^2 + C_3 \cdot t_n + a = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язавши систему рівнянь (13), отримуємо постійні інтегрування  $C_1$ ,  $C_2$  та  $C_3$ :

$$C_1 = \frac{60 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right)}{t_n^3}; C_2 = \frac{12 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right)}{t_n^2}; C_3 = \frac{3 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right)}{t_n}. \quad (14)$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (12) та

(14) у систему (5) отримаємо функцію зміни ривка формувального візка в процесі пуску від нерухомого стану до руху з усталеною швидкістю  $\dot{x}_y$ :

$$\ddot{x} = 30 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^3} + 12 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t}{t_n^2} + 3 \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \cdot \frac{1}{t_n}, \quad (15)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{3}{t_n} \cdot \left[ 10 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 4 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \right]. \quad (16)$$

Після цього критерій оптимальності руху в процесі пуску з урахуванням виразів (2) та (16) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} I_{wn} &= \frac{m}{2} \cdot \int_0^{t_n} \ddot{x}^2 dt = \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n^2} \cdot \int_0^{t_n} \left[ 10 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 4 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \right. \\ &\quad \left. + \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \right]^2 dt = \\ &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n^2} \cdot \int_0^{t_n} \left[ 100 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_n^4} + 16 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \right. \\ &\quad \left. + \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right)^2 + 80 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t^3}{t_n^3} + \right. \\ &\quad \left. + 20 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \right. \\ &\quad \left. + 8 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \cdot \frac{t}{t_n} \right]^2 dt = \\ &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n} \cdot \left[ 20 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right)^2 + \frac{16}{3} \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right)^2 + \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 20 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{20}{3} \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right) \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) + \right. \\ &\quad \left. + 4 \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right) \cdot \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right) \right] = \\ &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n} \cdot \left[ 20 \cdot \left( 6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 12 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - a \right)^2 + \frac{16}{3} \cdot \left( 30 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 14 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} + 3 \cdot a \right)^2 + \left( 8 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_n} - 20 \cdot \frac{x_1}{t_n^2} - 3 \cdot a \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 20 \cdot \left( 348 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_n^3} - 360 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^4} - 66 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_n^2} - 84 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^2} + 32 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_n} - 3 \cdot a^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{20}{3} \cdot \left( 48 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^2} - 216 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_n^3} - 26 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_n} + 240 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^4} + 56 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_n^2} + 3 \cdot a^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + 4 \cdot \left( 520 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_n^3} - 112 \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^2} + 66 \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_n} - 600 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^4} - 150 \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_n^2} - 9 \cdot a^2 \right) \right] = \\ &= \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n} \cdot \left[ 80 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^4} + \frac{64}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^2} + a^2 - 80 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_n^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_n^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_n} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$



Загальний критерій оптимальності руху в процесі реверсування з урахуванням виразів (11) та (17) буде визначатися наступним виразом:

$$I_W = I_{W_2} + I_{W_n} = \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_2} \cdot \left[ 80 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^4} + \frac{64}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_2^2} + a^2 - 80 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_2^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_2^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_2} \right] + \frac{9 \cdot m}{2 \cdot t_n} \cdot \left[ 80 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^4} + \frac{64}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_n^2} + a^2 - 80 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_n^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_n^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_n} \right]. \quad (18)$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску  $t_2 = t_n = t_1$ , вираз (18) можна подати у наступному вигляді:

$$I_W = \frac{9 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ 80 \cdot \frac{x_1^2}{t_1^4} + \frac{64}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y^2}{t_1^2} + a^2 - 80 \cdot \frac{x_1 \cdot \dot{x}_y}{t_1^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1 \cdot a}{t_1^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y \cdot a}{t_1} \right]. \quad (19)$$

Для забезпечення виконання нерівності (1) необхідно виконати умови:

$$\begin{cases} \frac{\partial I_W}{\partial x_1} = \frac{9 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ 160 \cdot \frac{x_1}{t_1^4} - 80 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3} + \frac{40}{3} \cdot \frac{a}{t_1^2} \right] = \frac{360 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[ 4 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - 2 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + \frac{1}{3} \cdot a \right] = 0; \\ \frac{\partial I_W}{\partial a} = \frac{9 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ 2 \cdot a + \frac{40}{3} \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - \frac{16}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = \frac{18 \cdot m}{t_1} \cdot \left[ a + \frac{20}{3} \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - \frac{8}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Із виразів (20) можна отримати:

$$\begin{cases} \left[ 4 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - 2 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} + \frac{1}{3} \cdot a \right] = 0 \\ \left[ a + \frac{20}{3} \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - \frac{8}{3} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = 0 \end{cases} \Rightarrow x_1 = \frac{5}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1; \quad a = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1}. \quad (21)$$

Підставивши два останні вирази (21) у рівності (6) та (8) отримано постійні інтегрування в процесі гальмування формульованого візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 3 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = -3 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^2}; \quad C_4 = 0; \quad C_5 = \dot{x}_y; \quad C_6 = -\frac{5}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (22)$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (22) отримано функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка формульованого візка в процесі гальмування:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \frac{t^4}{t_1^3} - \frac{t^3}{t_1^2} + 2 \cdot t - \frac{5}{4} \cdot t_1 \right); & \dot{x} &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} + 2 \right); \\ \ddot{x} &= 3 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{t_1^3} - \frac{t}{t_1^2} \right); & \ddot{\ddot{x}} &= 3 \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t}{t_1^3} - \frac{1}{t_1^2} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Підставивши два останні вирази (21) у рівності (12) та (14) отримано постійні інтегрування в процесі пуску формульованого візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 3 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = 0; \quad C_4 = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1}; \quad C_5 = 0; \quad C_6 = 0. \quad (24)$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (24) отрима-

но функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка формувального візка в процесі пуску:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{8} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( 6 \cdot \frac{t^2}{t_1} - \frac{t^4}{t_1^3} \right); & \dot{x} &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t}{t_1} \right); \\ \ddot{x} &= \frac{3}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left( \frac{t^2}{t_1^3} - \frac{1}{t_1} \right); & \ddot{x} &= 3 \cdot \dot{x}_y \cdot \frac{t}{t_1^3}. \end{aligned} \quad (25)$$

На усталеному режимі руху формувального візка координата переміщення та швидкості його центра мас описуються рівняннями [7]:

$$x = x_{0y} + \frac{(x_{1y} - x_{0y}) \cdot t}{t_y}; \quad \dot{x} = \frac{(x_{1y} - x_{0y})}{t_y} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0, \quad (26)$$

де:  $x_{0y}$  та  $x_{1y}$  – координати початкового та кінцевого положень центра мас візка при усталеному русі;  $t_y$  – тривалість усталеного руху.

У виразах (26) координату початкового положення центра мас візка при усталеному русі  $x_{0y}$  приймаємо рівною  $x_1$ . Тоді, прийнявши амплітуду переміщення візка від одного крайнього положення в інше  $\Delta x$ , кінцеву координату положення центра мас візка при усталеному русі можна визначити  $x_{1y} = \Delta x - x_1$ . Підставивши отримані координати  $x_{0y}$  та  $x_{1y}$  у другий вираз (26) отримано залежність для визначення швидкості руху візка на усталеному режимі  $\dot{x}_y$ :

$$\dot{x}_y = \frac{\Delta x - 2 \cdot x_1}{t_y} = \frac{\Delta x - \frac{5}{4} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1}{t_y} \Rightarrow \dot{x}_y = \frac{\Delta x}{t_y + \frac{5}{4} \cdot t_1}. \quad (27)$$

Прийнявши загальний час руху формувального візка з одного крайнього положення в інше  $t_3$ , його можна розділити на три частини: час пуску –  $t_n$ ; час усталеного руху –  $t_y$ ; час гальмування –  $t_2$ . Для забезпечення ущільнення бетонної суміші формувальним візком з постійною швидкістю руху на більшості його робочого ходу приймемо час усталеного руху, наприклад,  $t_y = \frac{2}{3} \cdot t_3$ , тоді, задаючись умовою рівності часу розгону та гальмування, їх можна визначити відповідними виразами:  $t_n = t_2 = t_1 = \frac{1}{6} \cdot t_3$ . Після цього вирази швидкості руху візка на усталеному режимі та координати  $x_1$  матимуть вигляд:

$$\dot{x}_y = \frac{8 \cdot \Delta x}{7 \cdot t_3}; \quad x_1 = \frac{5}{42} \cdot \Delta x. \quad (28)$$

Розглядаючи рух формувального візка від одного крайнього положення в інше та підставивши вирази (28) у рівності (23), (25) та (26), отримуємо функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка візка

– на ділянці пуску:

$$x = \frac{36 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( \frac{t^2}{t_3^2} - 6 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right); \quad \dot{x} = \frac{72 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 12 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^2} \right);$$

$$\ddot{x} = \frac{72 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 36 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{1}{t_3^2} \right); \quad \ddot{\ddot{x}} = \frac{5184 \cdot \Delta x}{7} \cdot \frac{t}{t_3^4};$$
(29)

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{\Delta x}{42} \cdot \left( 5 + 48 \cdot \frac{t}{t_3} \right); \quad \dot{x} = \frac{8 \cdot \Delta x}{7 \cdot t_3} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{\ddot{x}} = 0;$$
(30)

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 27 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 18 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + \frac{t}{t_3} + \frac{37}{48} \right); \quad \dot{x} = \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 108 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - 54 \cdot \frac{t^2}{t_3^3} + \frac{1}{t_3} \right);$$

$$\ddot{x} = \frac{864 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 3 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^3} \right); \quad \ddot{\ddot{x}} = \frac{864 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 6 \cdot \frac{t}{t_3^4} - \frac{1}{t_3^3} \right).$$
(31)

Задавшись амплітудою переміщення формувального візка  $\Delta x = 0,4 м$  та загальним часом його руху від одного крайнього положення в інше  $t_3 = 3с$ , за виразами (29)-(31) було розраховано кінематичні характеристики та побудовано графіки зміни переміщення (рис. 1, а), швидкості (рис. 1, б), прискорення (рис. 1, в) та ривка (рис. 1, г) при русі формувального візка з одного крайнього положення в інше та у зворотному напрямку з ривковим режимом реверсування при оптимальних крайових умовах.

Перетворивши перші рівняння виразів (29)-(31) для випадку, коли початок координат відраховується від середнього положення переміщення формувального візка, отримаємо:

– на ділянці пуску:

$$x = \frac{36 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( \frac{t^2}{t_3^2} - 6 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2};$$
(32)

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{8 \cdot \Delta x}{21} \cdot \left( 3 \cdot \frac{t}{t_3} - 1 \right);$$
(33)

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 27 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 18 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + \frac{t}{t_3} + \frac{37}{48} \right) - \frac{\Delta x}{2}.$$
(34)

Закон руху візка, описаний рівняннями (32)-(34), може бути здійснений приводом з кулачковим механізмом (рис. 2) зворотно-поступального руху візка. При цьому рух візка в одному напрямку здійснюється за рахунок повороту кулачка 1 на половину оберту (тобто  $\varphi = \pi$ ) і в зворотному напрямку ще на половину оберту; повний цикл руху візка – за один оберт кулачка. Для здійснення описаного закону руху візка необхідно, щоб приріст радіуса кулачка відпо-

відав приросту переміщення візка. Згідно з цим перемінний радіус кулачка визначається залежностями:

– на ділянці пуску:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{36 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( \frac{t^2}{t_3^2} - 6 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (35)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{8 \cdot \Delta x}{21} \cdot \left( 3 \cdot \frac{t}{t_3} - 1 \right); \quad (36)$$

– на ділянці гальмування:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( 27 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 18 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + \frac{t}{t_3} + \frac{37}{48} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad (37)$$

де  $b$  – відстань між штовхачами 2 (рис. 2).

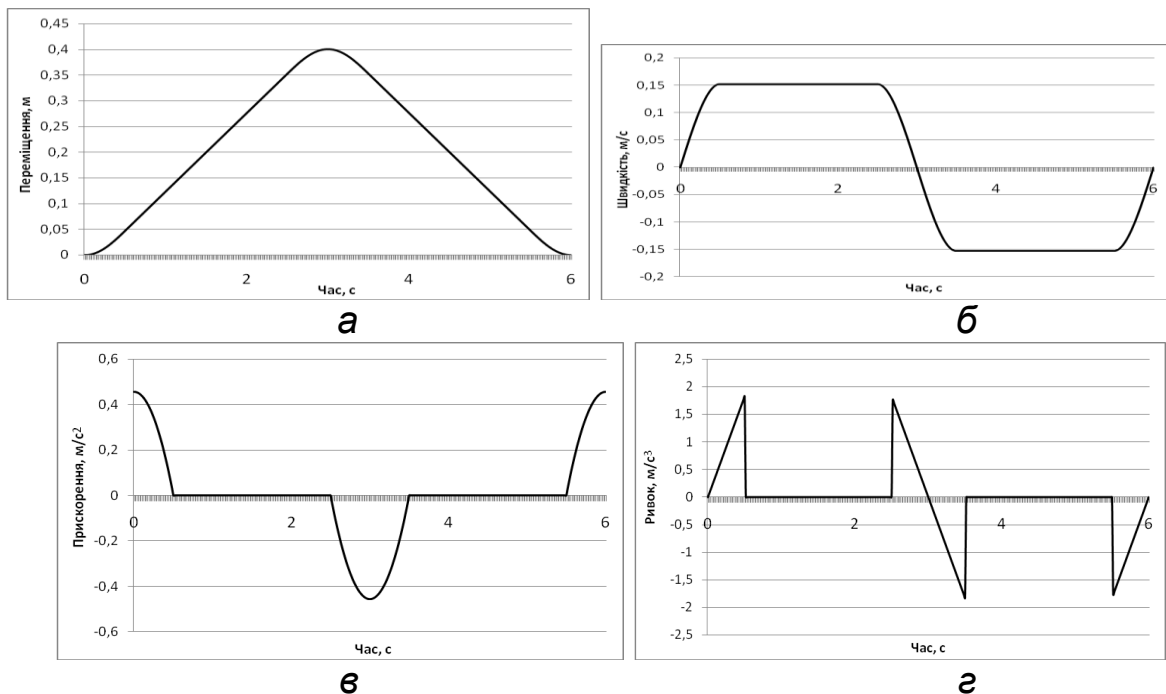


Рис. 1. Графіки зміни переміщення – а, швидкості – б, прискорення – в та ривка – г при русі формувального візка з ривковим режимом реверсування при оптимальних крайових умовах.

Час  $t$  можна виключити із залежностей (35)-(37), оскільки  $t = \varphi / \omega$ , а  $t_3 = \pi / \omega$ . Тут  $\varphi$  – кутова координата повороту кулачка, а  $\omega$  – кутова швидкість обертання кулачка. Оскільки час пуску формувального візка визначається залежністю  $t_n = \frac{1}{6} \cdot t_3$ , то процес пуску буде здійснюватись при повороті кулачка на кут в межах від  $\varphi = 0$  до  $\varphi = \pi / 6$ ; час усталеного руху –  $t_y = \frac{2}{3} \cdot t_3$ , тоді усталений рух візка буде

забезпечуватись поворотом кулачка на кут в межах від  $\varphi = \pi/6$  до  $\varphi = 5\pi/6$ ; час гальмування –  $t_2 = 1/6 \cdot t_3$ , тоді процес гальмування буде здійснюватись при повороті кулачка на кут в межах від  $\varphi = 5\pi/6$  до  $\varphi = \pi$ . Після відповідних перетворень радіус кулачка, що описує його профіль, пов'язується з кутвою координатою наступними виразами:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{36 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left( \frac{\varphi^2}{\pi^2} - 6 \cdot \frac{\varphi^4}{\pi^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}; \quad (38)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{8 \cdot \Delta x}{21} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \varphi - \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{\pi}{6} < \varphi < \frac{5\pi}{6}; \quad (39)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left[ 27 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 18 \cdot \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \left( \varphi - \frac{5\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{37}{48} \right] - \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{5\pi}{6} < \varphi \leq \pi. \quad (40)$$

Аналогічно визначається профіль кулачка на ділянці його повороту від  $\pi$  до  $2\pi$ , який описується радіусом, що змінюється залежностями:

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{36 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left[ \frac{(\varphi - \pi)^2}{\pi^2} - 6 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^4}{\pi^4} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \pi \leq \varphi \leq \frac{7\pi}{6}; \quad (41)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{8 \cdot \Delta x}{21} \cdot \left[ 3 \cdot \left( \varphi - \frac{7\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{7\pi}{6} < \varphi < \frac{11\pi}{6}; \quad (42)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{8 \cdot \Delta x}{7} \cdot \left[ 27 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 18 \cdot \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \left( \varphi - \frac{11\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{37}{48} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{11\pi}{6} < \varphi \leq 2\pi. \quad (43)$$

Для унеможливлення ударів кулачка об штовхачі при зміні напрямку руху візка описаний рівняннями (38)-(43) профіль кулачка (рис. 3) має такий вид, що в будь-якому положенні його діаметр  $d$  – величина постійна і рівна відстані між штовхачами  $b$  ( $d = b$ ).

З метою зменшення динамічних навантажень в елементах установки та для підвищення її надійності запропоновано конструкцію установки з приводним механізмом для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з ривковим режимом реверсування при оптимальних крайових умовах (рис. 4). Приводний механізм виконаний у вигляді шарнірно встановлених на порталі кулачкових механізмів, що контактують з штовхачами, жорстко прикріпленими до формувального візка.

Установка вміщує змонтований на нерухомому порталі 1 формувальний візок 2, що вміщує подавальний бункер 3 та укочувальні ролики 4 і здійснює зворотно-поступальний рух в напрямних 5 над

порожниною форми 6. Візок приводиться в зворотно-поступальний рух за допомогою двох приводів 7, прикріплених до порталу 1 у вигляді двох кулачкових механізмів, що обертаються з постійною кутовою швидкістю ( $\omega = const$ ), але різною за напрямками, і контактують з двома штовхачами 8, жорстко з'єднаними з візком 2. Наявність двох штовхачів 8 з кожного боку формувального візка 2 дозволяє створювати жорсткий силовий ланцюг при його прямому і зворотному ході.

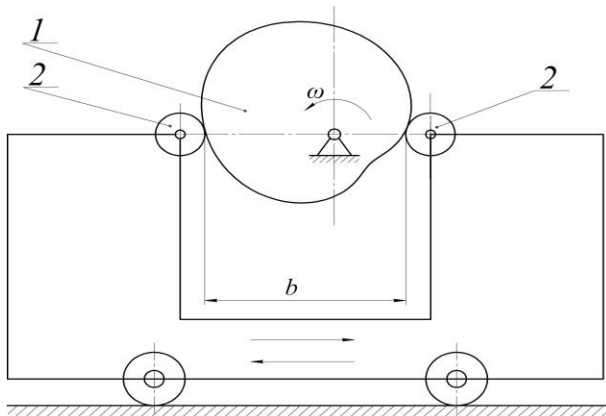


Рис. 2. Схема механізму з кулачковим приводом зворотно-поступального руху візка.

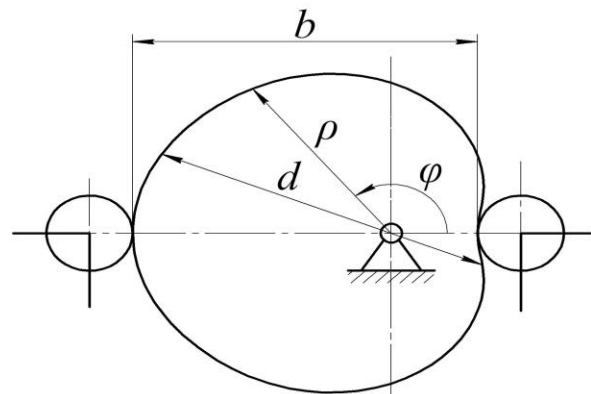


Рис. 3. Профіль кулачка, що реалізує комбінований динамічний режим руху формувального візка.

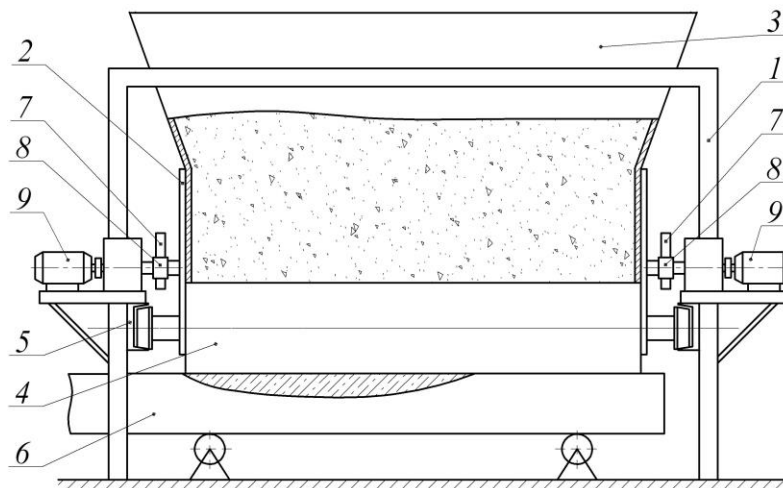


Рис. 4. Роликова формувальна установка з кулачковим приводним механізмом.

При застосуванні в установці кулачкового приводного механізму з кожного боку формувального візка унеможливується його осьове перекошування, підвищується якість поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшуються динамічні навантаження в елементах приводу, зменшуються зайві руйнівні навантаження на рамну конструкцію і, відповідно, підвищується довговічність установки в цілому.

## Висновки

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки розроблено конструкцію її приводу у вигляді кулачкового механізму та побудовано профіль кулачка для забезпечення зворотно-поступального руху формувального візка з ривковим режимом реверсування при оптимальних крайових умовах.

2. Запропоновано конструкцію роликової формувальної установки з кулачковим приводним механізмом з обох боків формувального візка для унеможливлення його осьового перекошування, що в свою чергу приводить до підвищення якості поверхні оброблюваної бетонної суміші, зменшення динамічних навантажень в елементах приводу, зменшення зайвих руйнівних навантажень на рамну конструкцію і, відповідно, до підвищення довговічності установки в цілому.

3. Результати роботи можуть в подальшому бути корисними для уточнення та удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку приводних механізмів машин роликового формування як на стадіях проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

## Список літератури

1. *Гарнець В. М.* Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси / *В. М. Гарнець*. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. *Кузин В. Н.* Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов / *В. Н. Кузин*. – Автореф. дис... канд. наук. – М., 1981. – 20 с.
3. *Рюшин В. Т.* Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей / *В. Т. Рюшин*. – Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – К., 1986. – 186 с.
4. *Ловейкін В. С.* Динамічний аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / *В. С. Ловейкін, К. І. Почка* // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. І-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM-I). – Тернопіль, 2004. – С. 507–514.
5. *Ловейкін В. С.* Результати експериментальних досліджень режимів руху роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / *В. С. Ловейкін, К. І. Почка* // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. П.Василенка. – Харків, 2007. – № 59, т. 1. – С. 465–474.
6. *Ловейкін В. С.* Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликової формувальної установки з рекупераційним приводом / *В. С. Ловейкін, К. І. Почка* // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – НУ «Львівська політехніка», 2007. – № 41. – С. 127–134.
7. *Ловейкин В. С.* Расчёты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / *В. С. Ловейкин*. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.

*Разработана конструкция роликовой формовочной установки с кулачковым приводным механизмом и построен профиль кула-*

чка для обеспечения комбинированного режима возвратно-поступательного движения формовочной тележки с рывковым реверсированием при оптимальных краевых условиях.

**Роликовая формовочная установка, режим движения, реверсирование, краевые условия, кулачковый механизм, привод.**

*The design of roller forming installation with the cam driving mechanism is developed and the cam profile for providing the combined mode of back and forth motion of the forming cart with a breakthrough reversal under optimum regional conditions is constructed.*

**Roller forming installation, movement mode, reversal, regional conditions, cam mechanism, drive.**

УДК 681.322

## **ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ ЗАЛЕЖНОГО ДОПУСКУ**

**П. М. Полянський, кандидат економічних наук  
Миколаївський національний аграрний університет**

*Викладено методик розрахунку залежного допуску. Наведені розрахункові формули. Дано методик розрахунків залежного допуску та визначення можливої частки придатних і дефектних деталей.*

**Залежний допуск, придатні деталі, остаточний брак, вилковий брак.**

**Постановка проблеми.** Якість і працездатність складаних одиниць і механізмів в першу чергу залежить від точності геометричних параметрів що впливає на довговічність. Всі складові елементи машин можна поділити за категоріям придатності при незалежних і залежних допусках на дві групи: придатні і непридатні деталі. За категорією придатності при незалежних допусках деталі можуть бути як придатні так і непридатні, а при залежних допусках показано на схемі рис. 1. При незалежних допусках придатними є деталі, у яких відхилення розташування знаходяться в границях допуску по кресленню. Всі останні деталі є непридатними, при цьому брак є остаточним. При незалежних допусках придатними є деталі, у яких відхилення розташування знаходяться в границях розширеного, порівняно з вказаним на кресленні, допуску розташування, який визначається співвідношення (1) і (2).

© П. М. Полянський, 2015



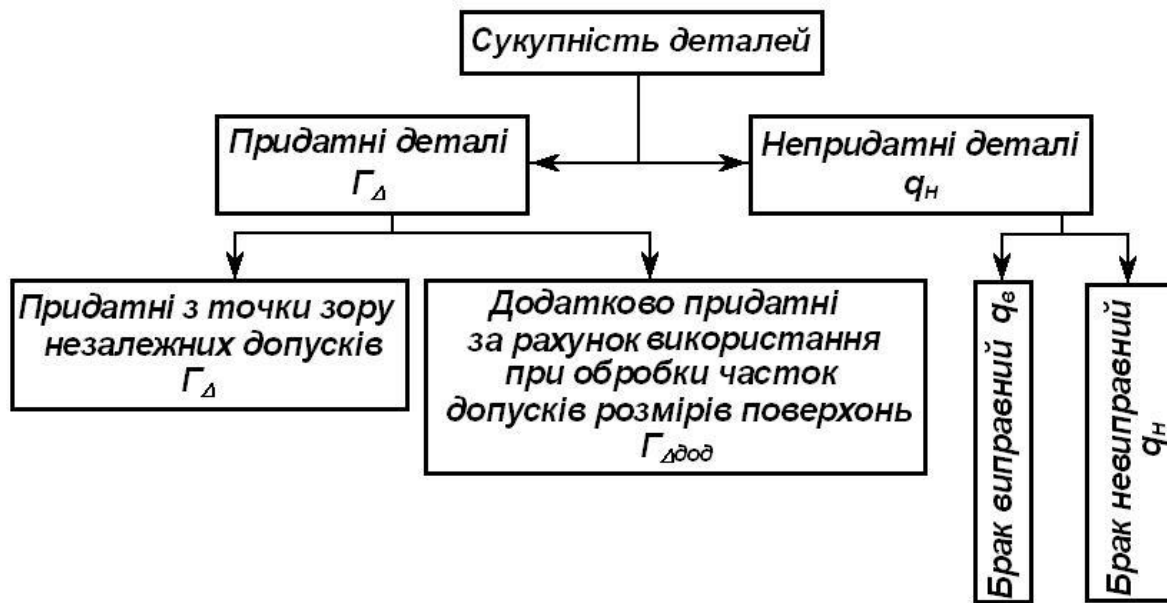


Рис. 1. Класифікація деталей за категорією придатності при залежних допусках.

**Аналіз останніх досліджень.** Коли залежний допуск зв'язаний з розмірами обох розглядуваних елементів, тоді:

$$\Delta_{\text{зал}} = \Delta + \frac{|Z_1| + |Z_2|}{2}, \quad (1)$$

де:  $\Delta_{\text{зал}}$  – граничне відхилення розташування для кожної конкретної деталі (в радіусному виразі);  $\Delta$  – мінімальна величина граничного відхилення розташування, яка проставлена на кресленні в радіусному виразі (наприклад, при допусках співвісності  $\Delta = T_c / 2$ );  $|Z_1|$  і  $|Z_2|$  – абсолютні значення відхилень розмірів координуючих поверхонь деталей від прохідних границь (найбільшого граничного розміру вала або найменшого граничного розміру отвору).

Коли допуски розташування позначені в діаметральному виразі, тоді, наприклад, стосовно до співвісності:

$$T_{\text{сзал}} = T_c + |Z_1| + |Z_2|, \quad (2)$$

де:  $T_{\text{сзал}}$  – значення допуску співвісності в діаметральному виразі для конкретної деталі;  $T_c$  – мінімальне значення допуску співвісності в діаметральному виразі, яке проставлене на кресленні.

При повному використанні допусків розмірів поверхонь, що координуються, коли їх розміри відповідають непрохідним границям, граничне відхилення розташування в радіусному виразі підраховується по формулі:

$$\Delta_{\text{зал.мах}} = \Delta + \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad (3)$$

де:  $T_1$  і  $T_2$  – допуски розмірів поверхонь, які координуються.

Коли залежний допуск зв'язаний з дійсними розмірами тільки розглядаємого або тільки базового елемента, то:

$$\Delta_{з.л} = \Delta + \frac{|Z|}{2}. \quad (4)$$

де:  $|Z|$  – абсолютне значення відхилення розміру від прохідної границі того елемента, з яким зв'язаний залежний допуск.

**Результати досліджень.** Компенсація відхилень розташування розмірів відхиленнями розмірів поверхонь, які координуються, може відбуватися не тільки автоматично, в силу випадковості взаємозв'язку відхилень розташування і відхилень розмірів, але і навмисно, коли для такої компенсації додатково використовується недовикористані при первинній обробці частки допусків на розміри поверхонь деталі. Брак при залежних допусках підрозділяється на виправний і остаточний. Виправним браком є деталі, у яких абсолютне значення відхилення розташування знаходиться в інтервалі значень, які визначаються співвідношеннями (1) і (3) (коли залежний допуск зв'язаний з розмірами обох розглядуваних поверхонь). Деталі з виправним браком можуть бути переведені в виправні шляхом повторної обробки координуючих поверхонь в границях недовикористаних часток допусків розмірів і приближення їх до непрохідних границь (наприклад, повторним розвертанням отворів без якої-небудь спеціальної установки). Інакше кажучи, виправними є деталі, у яких частка похибки розташування, яка виходить за границі проставленого на кресленні допуску, не компенсована використаними при обробці частками допусків лінійних і кутових розмірів, але компенсація може бути проведена навмисно без спеціальної установки за рахунок повторної обробці деталей за розмірами координуючих поверхонь в границях допусків на ці розміри. Таким чином, деталь переводиться в розряд придатних за рахунок довикористання допусків розмірів координуючих поверхонь, а не за рахунок похибки розташування цих поверхонь. Остаточним браком при залежних допусках є деталі, у яких допуски відповідних розмірів координуючих поверхонь виявляються недостатніми для компенсації доповнюючої частки відхилення розташування, тобто, в таких деталях абсолютне значення відхилення розташування перевищує значення, визначаємо співвідношенням (4). Порядок розрахунку можливих часток придатних і бракованих деталей залежної від технологічної точності обробки за розташуванням поверхонь і типом допуску. Методика розрахунку [2].

1. Із креслення деталі визначаються допуски розмірів координуючих поверхонь  $T$ ,  $T_1$  і  $T_2$ , з якими зв'язаний залежний допуск, і допуски розташування (або форми):  $T_C$  – допуск співвісності, симетричності, перетину осей у діаметральному вираженні;  $T_L$  – допуск пряmolінійності осі поверхні виробу в діаметральному вираженні;  $T_{\perp}$  –

допуск перпендикулярності осі поверхні виробу відносно площини;  $\pm\delta L$  – граничне відхилення розміру між осями від номінального значення;  $T_{п1}, T_{п2}$  – позиційні допуски осей у діаметральному вираженні.

2. Підраховується конструктивний коефіцієнт відносної точності деталі (виробу):

- для деталей з допуском співвісності, симетричності, перетину осей: коли залежний допуск, що пов'язаний з дійсними розмірами обох елементів, що розглядаються, то:

$$P = \frac{T_1 + T_2}{T_C}; \quad (5)$$

якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами тільки одного елемента (який розглядається або базового), то:

$$P = \frac{T}{T_C}; \quad (6)$$

- для деталей з допуском відстані між осями поверхонь заданим граничним симетричним відхиленням розміру між осями поверхонь від номінального значення: якщо залежний допуск зв'язаний з дійсними розмірами обох елементів, що розглядаються, то:

$$P = \frac{T_1 + T_2}{2\delta \cdot L}; \quad (7)$$

якщо залежний допуск зв'язаний з дійсними розмірами тільки одного елемента (розглянутого або базового), то:

$$P = \frac{T}{2\delta \cdot L}; \quad (8)$$

- для деталей, у яких допуски розташування задано позиційними: якщо залежний допуск зв'язаний з дійсними розмірами обох елементів, що розглядаються, то:

$$P = \frac{T_1 + T_2}{T_{п1} + T_{п2}}; \quad (9)$$

якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами тільки одного елемента, то:

$$P = \frac{T}{T_{п1} + T_{п2}}; \quad (10)$$

- для деталей з допуском перпендикулярності осі поверхні відносно площини:

$$P = \frac{T_1}{T_2}; \quad (11)$$

- для деталей з допуском прямолінійності осі поверхні:

$$P = \frac{T}{T_L}; \quad (12)$$

- за нульових залежних допусків коефіцієнт відносної точності не визначається.

3. Визначається поле технологічного розсіювання похибки розташування (або форми) за ГОСТ 16467-70.

4. Підраховується коефіцієнт технологічної точності обробки деталей за розташуванням поверхонь, що дорівнює відношенню поля розсіювання похибки розташування (або форми) до поля допуску:

- за допуску співвісності, симетричності, перехрещення осей:

$$K_{T\Delta} = \frac{\omega}{0,5T_C}; \quad (13)$$

- за допуску відстані між осями поверхонь, завданих граничним симетричним відхиленням розміру від номінального значення  $\pm\delta L$ :

$$K_{T\Delta} = \frac{\omega}{2\delta \cdot L}; \quad (14)$$

- за допуску перпендикулярності осі поверхні відносно площини:

$$K_{T\Delta} = \frac{\omega}{T_{\perp}}; \quad (15)$$

- за допуску прямолінійності осі поверхні:

$$K_{T\Delta} = \frac{\omega}{T_L}; \quad (16)$$

- за нульового залежного допуску співвісності, симетричності, перехрещення осей: якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами обох елементів. що розглядаються, то:

$$K_{T\Delta 0} = \frac{\omega}{TD + Td}; \quad (17)$$

якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами лише одного елемента, то:

$$K_{T\Delta 0} = \frac{\omega}{0,5T}; \quad (18)$$

- за нульового залежного допуску відстані між осями: якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами обох елементів, то:

$$K_{T\Delta 0} = \frac{\omega}{TD + Td}; \quad (19)$$

якщо залежний допуск пов'язаний з дійсними розмірами лише одного елемента, то:

$$K_{T\Delta 0} = \frac{\omega}{T}; \quad (20)$$

- за нульового залежного допуску перпендикулярності осі поверхні відносно площини, прямолінійності осі поверхні:

$$K_{T\Delta} = \frac{\omega}{T}; \quad (21)$$

5. Можливі частки придатних і дефектних деталей залежних допусків розташування (або форми), не рівних нулю, визначаються: за допусків співвісності, симетричності, перпендикулярності, перехрещенні осей, прямолінійності [2, табл. Д 7 – Д 10]; за допусків розмірів, координуючих осей поверхонь (відстань між осями поверхонь, між віссю поверхні й площиною) – [2, табл. Д 11].

6. Можливі частки придатних і дефектних деталей за незалежних допусків: за допусків співвісності, симетричності, перпендикулярності, перехрещенні осей, прямолінійності [2, табл. Д 7 і Д 15]; за допусків розмірів, координуючих осей поверхонь (відстань між осями поверхонь, між віссю поверхні й площини) [2, табл. Д 9, Д 19].

**Висновок.** Запропоновану методику розрахунку залежного допуску необхідно запроваджувати у практику розрахунків залежного допуску та визначення можливої частки придатних і дефектних деталей.

### Список літератури

1. *Взаємозамінність*, стандартизація і технічні вимірювання: навчально-методичний комплекс: навч. посіб. для студентів інженерних спеціальностей осв.- кваліф. рівня “Бакалавр” / [Іванов Г. О., Шебанін В. С., Бабенко Д. В. та ін. (І. М. Бендера, К. М. Думенко, П. М. Полянський, О. М. Бистрий, О. С. Кириченко)]; за заг. ред. Г. О. Іванова, В. С. Шебаніна, І. М. Бендери. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 629 с.
2. Іванов Г. О. Взаємозамінність та технічні виміри / Г. О. Іванов, Д. В. Бабенко, С. І. Пастушенко, О. В. Гольдшмідт. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 335 с.
3. Взаємозамінність та технічні виміри / [Г. О. Іванов, Д. В. Бабенко, С. І. Пастушенко та ін. ]. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 335 с.
4. Практикум з дисципліни “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання”. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів освіти / Г. О. Іванов, В. С. Шебанін, Д. В. Бабенко, С. І. Пастушенко, О. А. Горбенко, К. М. Думенко : за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шебаніна. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 648 с.

*Изложена методика расчета зависимого допуска. Приведены расчетные формулы. Дана методика расчетов зависимого допуска и определения возможной доли пригодных и дефектных деталей.*

***Зависимый допуск, годные детали, окончательный брак, исправительный брак.***

*The method of calculating the dependent tolerance. These formulas. Given the method of calculation dependent admission and determination of suitable and possible share of defective parts.*

***Dependent admittance, suitable details, final defect, correctional defect.***

## ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

***В. В. Савченко, О. Ю. Синявський, кандидати технічних наук***

*Наведено результати досліджень впливу магнітного поля на насіння зернових культур. Встановлено залежності енергії проростання і здатності проростання насіння зернових культур від магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі. Визначено найбільш ефективні режими обробки.*

***Пшениця, ячмінь, енергія проростання, здатність проростання, магнітна індукція, швидкість руху насіння.***

**Постановка проблеми.** Нині актуальним завданням є підвищення врожайності сільськогосподарських культур та якості продукції при мінімальному застосуванні хімічних засобів. Таку можливість відкриває застосування електротехнологій.

Передпосівна обробка насіння зернових культур у магнітному полі має ряд переваг перед іншими електротехнологічними методами. Застосовувані установки транспортерного типу з постійними магнітами мають меншу вартість і не потребують спеціальних джерел живлення, є простими в експлуатації і можуть застосовуватися у потокових лініях передпосівної обробки насіння.

Застосування цієї енерго- та ресурсозберігаючої технології обумовлює необхідність встановлення механізму впливу магнітного поля на насіння і визначення найбільш ефективного режиму обробки.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомі приклади успішного використання передпосівної обробки насіння зернових культур у магнітному полі при магнітній індукції 0,04-0,06 Тл. Для цього встановлювали над стрічкою вивантажувального транспортера ТЗК-30 шість пар магнітних модулів на відстані 110 мм один від одного і від стрічки транспортера при швидкості руху насіння 1-1,3 м/с [6].

Проте дослідження впливу на зерно магнітного поля з магнітною індукцією понад 0,01 Тл не проводилися, тому запропонований режим обробки не є оптимальним. У зв'язку з цим виникла необхідність у проведенні досліджень впливу магнітного поля на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в насінні, і визначення оптимальних режимів обробки.

**Мета досліджень** – встановлення впливу магнітного поля на енергію проростання і здатність проростання насіння зернових культур.

*Матеріали і методика досліджень.* Експериментальні дослідження проводилися з пшеницею сорту «Наталка» та ячменем сорту «Солнцедар». Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, що створювалось постійними магнітами.

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0-0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху насіння через магнітне поле регулювали за допомогою перетворювача частоти струму. Оброблене в магнітному полі насіння пшениці пророщували згідно ГОСТ 10968-88 [2].

Енергію проростання зерна у відсотках визначали за формулою:

$$E = \frac{500 - n}{500} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де:  $n$  – кількість зерен, що не проросли за 72 год, шт.; 500 – кількість зерен в аналітичній пробі.

Здатність проростання зерна у відсотках обчислювали за формулою:

$$ЗП = \frac{500 - n_1}{500} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де:  $n_1$  – кількість зерен, що не проросли за 120 год, шт.

Дослідження впливу магнітної індукції і швидкості руху на енергію проростання і здатність проростання насіння зернових культур при магнітній обробці проводилися з використанням теорії планування експерименту [1]. Як фактори приймалися магнітна індукція ( $X_1$ ) і швидкість руху насіння ( $X_2$ ), а вихідні величини – енергія проростання і здатність проростання насіння зернових культур. На основі проведених однофакторних експериментів були визначені значення верхнього, нижнього і основного рівнів фактора, які склали для магнітної індукції відповідно 0; 0,65 і 0,130 Тл, для швидкості руху зерна – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

При дослідженнях використовувався ортогональний централь-но-композиційний план [1]. Досліди виконували в трикратній повторності. У кожному рядку матриці планування визначали дисперсії, а їх однорідність перевіряли за критерієм Кохрена.

Рівняння регресії знаходили у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (3)$$

Коефіцієнти в рівнянні регресії та їх значущість визначали за відомою методикою, а адекватність отриманого рівняння регресії оцінювалася за критерієм Фішера [1].

**Результати досліджень.** Обробка насіння зернових культур в магнітному полі впливає на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в них. Під впливом магнітного поля зростає швидкість хімічних і біохімічних реакцій, які протікають в клітинах [7], що сприяє стимуляції насіння, росту та розвитку рослин:

$$\omega_m = \omega \exp \mu(K^2 B^2 + 2KBv_n) N_a / 2RT, \quad (4)$$

де:  $\omega$  – швидкість хімічної реакції без впливу магнітного поля, моль/л·с;  $\mu$  – зведена маса іонів, кг;  $B$  – магнітна індукція, Тл;  $v$  – швидкість руху іонів, м/с;  $K$  – коефіцієнт, який залежить від концентрації та виду іонів, а також кількості перемагнічувань, м/с·Тл;  $N_a$  – число Авогадро, молекул/моль;  $R$  – універсальна газова стала, Дж/моль·К;  $T$  – температура, К.

Магнітне поле сприяє підвищенню розчинності солей і кислот, які знаходяться в рослинній клітині, що також є стимулюючим фактором в життєдіяльності рослин [8]:

$$\alpha_m = \alpha e^{\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}}, \quad (5)$$

де:  $\alpha_m$  і  $\alpha$  – ступінь електролітичної дисоціації після і до обробки в магнітному полі.

При впливі магнітного поля на клітинні мембрани підвищується їх проникність, що прискорює дифузію через мембрану молекул та іонів [3]. Внаслідок цього збільшується швидкість дифузії молекул кисню через клітинну мембрану і його розчинність, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і зменшенню захворюваності рослин внаслідок придушення процесу спороутворення фітопатогенних грибків:

$$\Delta C = \frac{C_{1O_2} - C_{2O_2}}{2} \left[ 1 - e^{-\frac{2k_{\partial} (a + K_M \text{grad} B)^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}}{\Delta L^2} t} \right], \quad (6)$$

де:  $C_{1O_2}, C_{2O_2}$  – відповідно концентрації молекул кисню в клітинах 1 і 2, розділених мембраною, моль/л;  $k_{\partial}$  – коефіцієнт дифузії;  $K_M$  – коефіцієнт;  $E_a$  – енергія активації, Дж;  $k$  – стала Больцмана, Дж/К;  $\Delta L$  – товщина мембрани, м.

Крім того, підвищення проникності клітинних мембран і швидкості хімічних реакцій при обробці насіння в магнітному полі викликає збільшення водопоглинання насіння, що прискорює розвиток рослин і сприяє підвищенню врожайності [4]:



$$\Delta m = \rho \Delta V = \frac{C_1 e^{-\frac{\mu(K^2 B^2 - 2KBv_{n^*})}{2RT}} - C_2}{C_1 e^{-\frac{\mu(K^2 B^2 - 2KBv_{n^*})}{2RT}} + C_2} \rho V \left( 1 - e^{-\frac{k_{\partial}(a + K_M \text{grad} B)^2 e^{-\frac{E a}{kT}}}{\Delta L^2}} t \right) \quad (7)$$

де:  $\rho$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ .

Під дією сили Лоренца посилюється транспорт іонів, внаслідок чого зростає концентрація мінеральних елементів, що надійшли в клітину [5]:

$$\Delta C_{i_2} = C_{i_1} v_i^0 f_i N_n E \tau \left( a + \frac{2K_M B}{\tau} \right) \left( \frac{a}{v} + \frac{2K_M B}{2v} + \frac{1}{2} K_{\kappa} K_{\epsilon} B \right) e^{-\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}} \quad (8)$$

де:  $v_i^0$  – абсолютна швидкість руху іона,  $\text{м/с}$ ;  $f_i$  – коефіцієнт електропровідності;  $E$  – напруженість електричного поля в клітині,  $\text{В/м}$ ;  $a$  – розмір пори в клітині,  $\text{м}$ ;  $\tau$  – полюсна поділлка,  $\text{м}$ .

На підставі проведених теоретичних досліджень встановлено, що обробку насіння необхідно здійснювати в неоднорідному магнітному полі, а застосування періодичного магнітного поля посилює ефект обробки. Зміна фізико-хімічних параметрів насіння при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості їх руху в магнітному полі. Внаслідок дії магнітного поля зростає енергія проростання і здатність проростання насіння, а також врожайність сільськогосподарських культур.

За результатами проведеного багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке у фізичних величинах має вигляд (рис. 1) для зерна пшениці (9) і зерна ячменю (10):

$$E = 80.021 + 680.889B - 60.889v + 300Bv - 5733B^2 \quad (9)$$

$$E = 52.907 + 1021B - 8.611v - 153.846Bv - 6062B^2 \quad (10)$$

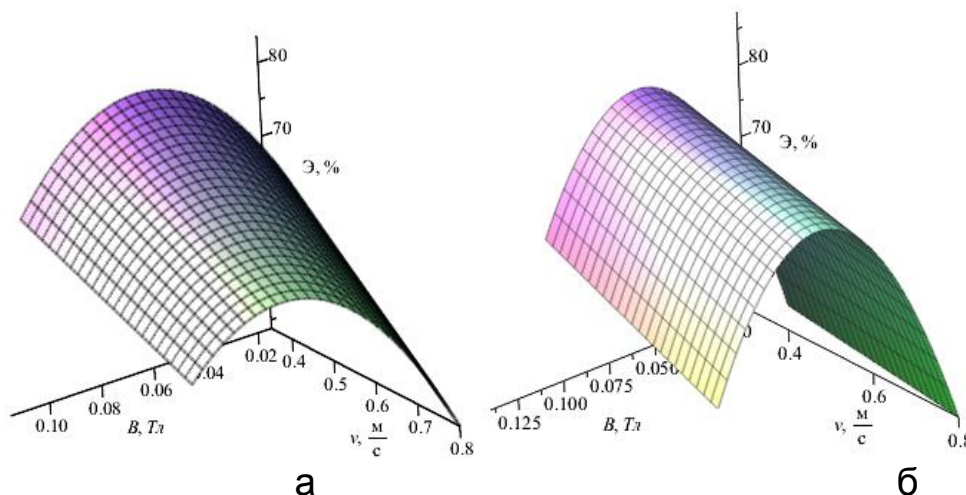


Рис. 1. Зміна енергії проростання зерна при обробці насіння в магнітному полі: а – зерно пшениці; б – зерно ячменю.

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл енергія проростання зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. Встановлено, що при магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, енергія проростання змінюється неістотно і становить для пшениці 64 % (у контролі – 34 %), для ячменю – 70 % (у контролі – 48 %).

Рівняння регресії, що зв'язує здатність проростання зерна з параметрами магнітного поля, у фізичних величинах має вигляд (рис. 2): для зерна пшениці (11) і зерна ячменю (12)

$$ЗП = 75.831 + 533.667B - 9.875v - 91.667Bv - 3511B^2; \quad (11)$$

$$ЗП = 58.63 + 988.034B - 4.444v - 192.308Bv - 5667B^2. \quad (12)$$

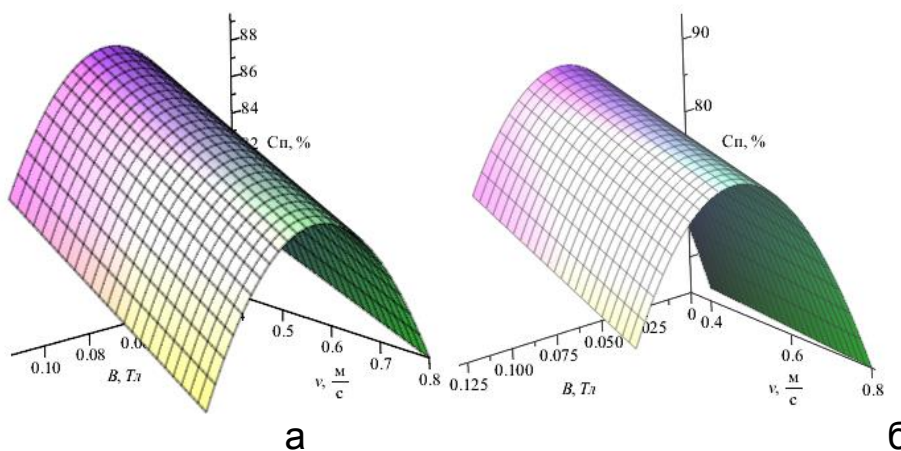


Рис. 2. Зміна здатності проростання зерна при обробці насіння в магнітному полі: а – зерно пшениці; б – зерно ячменю.

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл здатність проростання зерна зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, здатність проростання змінюється неістотно і становить для зерна пшениці 78 % (у контролі – 70 %), ячменю – 78 % (у контролі – 56 %). Встановлено, що енергія проростання насіння зернових культур і його здатність проростання мають максимальне значення при магнітній індукції 0,065 Тл. У всіх дослідах ефект магнітної обробки залежав від швидкості руху насіння. Однак у діапазоні швидкостей 0,4-0,8 м/с вона є менш істотним фактором, ніж магнітна індукція. Найкращі результати були отримані при швидкості 0,4 м/с.

**Висновок.** Енергія проростання і здатність проростання зернових культур при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі. Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4 м/с.

## Список літератури

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 278 с.
2. Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания: ГОСТ 10968-88. – [Введен 1988-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2009. – 4 с.
3. Козырський В. В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В. В. Козырський, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №2 (15). – С. 16–19.
4. Козирський В. В. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння / В. В. Козирський, В. В. Савченко, О. Ю. Синявський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 194, ч.1. – С. 16–20.
5. Козырський В. В. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений культур / В. В. Козырський, В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3 (16). – С. 18–22.
6. Кутис С. Д. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян / С. Д. Кутис, Т. Л. Кутис, Е. З. Гак // Механизация и автоматизация технол. процессов в агропром. комплексе. Ч. 2. – М., 1989. – С. 35–36.
7. Савченко В. В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В. В. Савченко, А. Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.
8. Савченко В. В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В. В. Савченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 68–72.

*Приведены результаты исследований влияния магнитного поля на семена зерновых культур. Установлены зависимости энергии прорастания и способности прорастания семян зерновых культур от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определены наиболее эффективные режимы обработки.*

***Пшеница, ячмень, энергия прорастания, способность прорастания, магнитная индукция, скорость движения семян.***

*The results of research on the influence of magnetic field on seed crops are shows. The dependencies of germination energy and germination property of cereals by magnetic induction and speed of seeds in a magnetic field are established. The most effective treatment regimens.*

***Wheat, barley, germination energy, germination property, magnetic induction, speed of seed.***

## **ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МІКОБІОПРЕПАРАТІВ**

***В. В. Теслюк, доктор сільськогосподарських наук***

***В. В. Теслюк, студент***

***Національний університет біоресурсів***

***і природокористування України***

***М. С. Шведик, кандидат технічних наук***

***Луцький національний технічний університет***

*Викладено актуальність застосування грибних полісахаридів захисті рослин від хвороб та передумови розробки біотехнології виробництва мікобіопрепарату з плодових тіл грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.). Біотехнологія включає заготівлю грибів, сушку і їх зберігання, подрібнення, екстракцію, відділення рідкої фракції, змішування компонентів.*

***Грибні полісахариди, біотехнологія, грибна біомаса, мікобіопрепарат, плодове тіло, грибний екстракт, розміри.***

**Постановка проблеми.** Сучасна концепція впровадження систем інтегрованого та біологічного (органобіологічного, органічного, екологічного, тощо) землеробства може бути забезпечена за умов застосування в технологіях вирощування сільськогосподарських культур елементів захисту рослин від хвороб мікобіопрепаратів-індукторів резистентності на основі діючих речовин хітин-глюканового і меланінового компонента. Аналіз наукових публікацій використання глюканів і хітозану (похідного хітину) свідчить про високу ефективність використання цих біополімерів у сільському господарстві. Протягом останніх десятиріч вивченню властивостей хітозану в якості біологічно активної речовини приділялося багато уваги в медицині, промисловості, парфумерії сільському господарстві тощо. В результаті вивчення властивостей біополімеру щодо можливості застосування в сільському господарстві отримано позитивні результати застосування для підвищення стійкості рослин до хвороб і інших негативних впливів [1].

**Аналіз останніх досліджень.** Основною сировиною для отримання хітину і продукту його переробки – хітозану – нині залишаються панцери ракоподібних (крабів, креветок, омарів, лангустів). Результатами світових наукових розробок щодо створення біотехнології виробництва індукторів стійкості рослин до негативних впливів на основі хітозану стала поява на ринку зарубіжних країн біопрепаратів-

© В. В. Теслюк, В. В. Теслюк, М. С. Шведик, 2015

індукторів стійкості рослин до негативних впливів на основі хітозану – нарцис, агрохіт, хітозар, фітохіт та ін. Маючи позитивні наслідки у створенні біопрепаратів, широке промислове використання їх стримує нестабільне забезпечення сировиною внаслідок біологічних особливостей окремих видів крабів в їх віку, високої ціни та сезону заготівлі. Для отримання хітину і його похідних учених спонукало до пошуків іншої сировини та розробки технології його виробництва.

Для отримання хітину і його похідних нами був вибраний напрямок розробки технології створення біополімерів із плодових тіл грибів. Гриби, крім хітину, містять нерозчинні в лузі глюкани, які складно відокремлювати від хітину. Звідси більш вигідно отримувати хітин-глюканові та хітозан-глюканові компоненти [2].

З грибної біомаси хітин-глюканові (ХГК) та хітозан-глюканові меланінові комплекси (ХГМК) можна виділити до 10 %; вихід їх визначається видом продуцента та умовами вирощування. Техніко-економічна ефективність цих біополімерів підтверджена позитивними показниками і останнім часом набуває широкого використання в рослинництві, де хітин, хітозан і їх похідні є еліситерами, які стимулюють імунну систему рослин до негативних впливів, підвищують їх антигрибкову, антивірусну та антибактеріальну стійкість [3]. За робочою гіпотезою, дослідження були спрямовані на вивчення методів отримання біологічно активних хітин-глюканових комплексів (ХГК) із вищих базидіальних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.), які розповсюджені в природних умовах України досить широко.

Відсутність наукових досліджень стосовно наявності технологій виробництва грибних біополімерів з афілофоральних дереворуйнівних грибів і біопрепаратів на їх основі та біологічної ефективності застосування мікобіопрепаратів на основі грибних біополімерів і взагалі відсутність аргументованих і достатньо глибоких наукових уявлень про еліситерні властивості грибних ХГК із вищих базидіальних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) у боротьбі з рослинними патогенами було основою для розробки програми і методики досліджень.

**Мета досліджень** – розробка технологічних основ отримання на основі грибних глюканів мікобіопрепаратів із плодових тіл вищих базидіальних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) для захисту і стимуляції росту й розвитку рослин.

**Матеріал і методика досліджень.** Розробку та удосконалення технологічного процесу модельної біотехнології виробництва мікобіопрепаратів та обґрунтування нових науково-технічних рішень проводили впродовж 1999-2014 рр. Морфологічні показники тіл вищих базидіальних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.), як сировини для виготовлення мікобіопрепаратів, визначали відповідно до розроблених технічних умов [4]. Вологість плодових тіл після збирання

та сушіння визначали за відомими методиками. Однорідність і ступінь подрібнення грибної біомаси визначали шляхом підбору калібрувальних отворів знімних решіток подрібнювача. Показники, що характеризують мікобіопрепарат, визначали за органолептичними та фізико-механічними нормативами технічних умов, що розроблено й затверджено в установленому порядку [5].

Біологічну ефективність застосування різних композицій мікобіопрепаратів вивчали на найрозповсюдженіших сільськогосподарських культурах за загальноприйнятими методиками.

**Результати досліджень.** Перспективною і актуальною сировиною для отримання хітин-глюканових (ХГК) та хітозан-глюканові меланінових (ХГМК) компонентів, які є основою діючої речовини мікобіопрепарату біофунгіцид мікосан є плодові тіла вищих базидіальних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) [6].

Технологічний процес отримання діючої речовини мікобіопрепарату складається з підготовчих і основних технологічних операцій.

1. Основні технологічні операції: механічна обробка плодкових тіл дереворуйнівних грибів, хімічна обробка сировини, приготування компонентів; змішування компонентів; упаковка продукції.

2. Допоміжні операції: заготівля сировини; підготовка сировини до зберігання і її зберігання, санітарна обробка приміщень; підготовка реактивів до екстракції грибної сировини.

За розробленою схемою, біотехнологія отримання грибних полісахаридів, які є основною діючою речовиною мікобіопрепаратів є замкнутим циклом. Залишки рідини, що утворюються внаслідок використання розчинів миючих засобів, зливаються в побутову каналізацію, а використана під час санітарної обробки тканина утилізується разом з побутовими залишками на загальні звалища. Нерозчинний залишок грибної біомаси накопичується у збірнику і передається на іншу технологічну лінію, де використовується сировиною для виготовлення біологічно активної харчової добавки „Мікотон”. Одержаний в результаті екстракції грибної біомаси, лужний екстракт подається на подальше змішування з іншими компонентами та розфасовкою готового препарату у промислому тару.

Плодові тіла дереворуйнівних афілофоральних грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) заготовляють у природних умовах відповідно до розробленого державного стандарту [4].

Технологічний процес заготівлі грибів має такі операції: пошук грибів, відокремлення від субстрату, транспортування до пункту збору, сортування за видовими ознаками, попереднє подрібнення великих за розмірами грибів, сушіння, пакування, маркування та зберігання до подальшої переробки. Пошук грибів проводиться маршрутною схемою у найбільш ймовірних місцях – старих листяних

або змішаних лісах (соснові ліси є відносно небагатими в цьому відношенні), старих лісосмугах і лісопосадках біля річок, озер; парках, склади деревини під відкритим небом тощо. Такі види грибів розповсюджені на мертвій деревині, але деякі можуть траплятися й на живих деревах.

Плодові тіла можуть рости на різній від основи дерева висоті – до 10 м і більше, тому для зняття їх застосовують промислову драбину або довгі жердини. Відокремлення від субстракту дерева великих плодових тіл розміром понад 5 см проводять за допомогою сокири, а менших – ножа. Великі плодові тіла зручніше відділяти ударами по шляпці знизу або біля основи.

Транспортування на пункт збору зібраних грибів проводять в наявній мішкотарі. По можливості доступним транспортом (трактор, підвода тощо) рекомендовано пересуватися по лісових дорогах, щоб заготівельник заповнений мішок масою 25 кг міг принести до транспорту і взяти порожню тару. Після завершення збирання плодові тіла транспортуються до пункту заготівлі або тимчасового зберігання.

Доставивши гриби, їх висипають з тари, очищують плодові тіла від залишків деревини, кори, листя, хвої і моху. Під час чищення проводять попередню візуальну оцінку якості плодових тіл і відбраковують погризені жуками чи їх личинками, а також плісняві або гнилі гриби. Відповідно до встановлених технічними умовами вимог зібраний матеріал сортують за видами.

Відразу після сортування треба проводити повітряне або термічне сушіння плодових тіл грибів. Технологічна операція сушіння є обов'язковою в технологічному процесі.

Наступною технологічною операцією модельної біотехнології виробництва мікобіопрепаратів є механічне подрібнення плодових тіл грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.). Технічне вирішення виконання даної операції найбільш оптимально забезпечує застосування дробарки виробництва дослідно-експериментального заводу нестандартного обладнання «дробарка малогабаритна ДМ. 00.00.000РЭ». Обґрунтування технічного забезпечення подрібнення зроблено шляхом пошукових досліджень якості подрібнення плодових тіл грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) з використанням змінних решіт різного діаметру для визначення продуктивності дробарки та однорідності формування фракційного складу подрібненої грибної біомаси.

На підставі порівняльного аналізу застосування змінних решіт діаметрами 4 мм, 6 та 8 мм в процесі подрібнення плодових тіл грибів (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) зібраних із берези та доведених до вологості 11-15 рекомендовано використовувати змінне решето діаметром 6 мм, що було підтверджено результатами екстракції біомаси. Послідуною технологічною операцією в модельній біотехно-

логії виробництва мікобіопрепаратів є екстракція грибної біомаси для отримання лужного екстракту. Для виконання екстракції на основі аналізу технічних засобів-реакторів та попередніх досліджень запропоновано промисловий реактор, який дає змогу регулювати параметри і показники екстракції, за умов зміни балансу компонентів маси грибів і матеріалів та відповідному терміну екстракції. В основу отримання хітину і його похідних із грибів покладено технологію їх вимивання із застосуванням лугу шляхом екстракції грибної біомаси.

По закінченні екстракції рідкий лужний екстракт грибів необхідно відділити від нерозчинного залишку грибної біомаси. Для цього в технологічному процесі використовується технологічна операція фільтрування шляхом застосування спеціальних фільтрів або центрифуги. Завершальною технологічною операцією виробництва мікобіопрепарату є змішування отриманого лужного грибоного екстракту з компонентами, що сприяють кращому зберіганню біологічно активних речовин та підвищенню його біологічної ефективності. Таким чином, отримано мікобіопрепарат, на основі лужного екстракту афілофоральних грибів, який доповнено додатковими компонентами та мікроелементами, що за органолептичними і фізико-механічними показниками, повинен відповідати таким характеристикам і нормам в табл. 1.

### **1. Органолептичні й фізико-хімічні характеристики мікобіопрепаратів.**

Показник	Характеристика і норма	
	Мікобіопрепарат насінневий	Мікобіопрепарат вегетаційний
Зовнішній вигляд	Водорозчинний концентрат темно-коричневого або чорного кольору з характерним запахом аміаку, без сторонніх включень та осаду	Водорозчинний концентрат темно-коричневого або чорного кольору з характерним грибним запахом, без сторонніх включень та осаду
Об'ємна маса, г/см <sup>3</sup>	1,1-1,2	1,0-1,05
Реакція розчину, рН	8-9	11-12
Розчинність у воді	Легко розчинний в будь-якому співвідношенні	
Сухої речовини, не < %	3	

Готовий мікобіопрепарат розфасовується у тару і передається на склад або безпосередньо виробничнику. Екстракт на основі хітину показав високу елісаторну активність. На основі його створено мікобіопрепарати двох призначень для вирощування органічної рослинницької продукції спеціальних сировинних зон – для передпосівної обробки насіння, цибулин, бульб, корінців розсади та саджанців, а також – для обробки рослин в період росту.



## Висновки

1. Актуальним і перспективним напрямком захисту рослин від хвороб є стимуляція захисних механізмів рослин шляхом використання мікобіопрепаратів на основі хітин-глюканових комплексів грибного походження.

2. Основною сировиною виробництва мікобіопрепаратів запропонована та досліджені плодові тіла афілофоральних грибів природного походження (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.), які ростуть на березі, тополі та вільсі.

3. Досліджений і розроблений біотехнологічний процес виробництва мікобіопрепарату із плодкових тіл грибів є новим науковим рішенням в галузі створення препаратів захисту рослин і є конкурентоспроможним та комерційно привабливим.

## Список літератури

1. Мельничук М. Д. Технологические основы создания модельной биотехнологии микобиопрепаратов органического земледелия / М. Д. Мельничук, В. А. Дубровин, В. В. Теслюк, Е. Красовски // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agricultural. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Lublin-Rzeszow: 2013. – Vol. 15, № 3. – P. 13–19.
2. Феофилова Е. П. Перспективные источники получения хитина из природных объектов / Е. П. Феофилова, В. М. Терешина // Новые перспективы в исследовании хитина и хитозана. – М., 1999. – С. 76–78.
3. Патент 29953 Україна, МПК А01N 63/00, А01N 65/00, А01Р 1/00, А01Р 3/00. Спосіб підвищення стійкості рослин до хвороб / Горовой Л. Ф., Кошевський І. І., Редько В. В., Теслюк В. В. Заявник і власник Горовой Л. Ф., Кошевський І. І., Редько В. В., Теслюк В. В. ; заявлено 27.02.2007; опубліковано 11.02.2008.
4. Гриби. Трутовик справжній. Технічні умови. СОУ 01.12-37-554:2007. [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Мінагрополітики, 2007. – 14 с. – (Національні стандарти України).
5. Мельничук М. Д. Технологические основы получения и применения грибных полисахаридов в органическом земледелии / [М. Мельничук, В. Дубровин, Г. Голуб, В. Теслюк, В. Барановский // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agricultural. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Lublin-Rzeszow: 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 8–14.

*Изложены актуальность применения грибных полисахаридов в защите растений от болезней и предпосылки разработки биотехнологии производства микобиопрепарата из плодовых тел грибов (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.). Биотехнология включает заготовку грибов, сушку и их хранение, измельчение, экстракцию, отделение жидкой фракции, смешивание компонентов.*

***Грибные полисахариды, биотехнология, грибная биомасса, микобиопрепарат, плодовое тело, грибной экстракт, размеры.***

*Set out the relevance of the use of mushroom polysaccharides in plant protection from diseases and conditions develop biotechnology mikobiopreparat production of fruiting bodies of fungi (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.). Biotechnology includes a mushroom harvesting, drying and storage, crushing, extraction, separation of the liquid fraction, the mixing of the components.*

***Mushroom polysaccharides, biotechnology, fungal biomass, mikobiopreparat, fruiting body, mushroom extract size.***

УДК 621.791.927

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ**

***Ч. В. Пулька, В. М. Барановський, доктори технічних наук  
В. Я. Гаврилюк, В. С. Сенчишин, інженери  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя***

*У статті описано метод індукційного наплавлення тонких фасонних дисків з використанням кільцевих індукторів шляхом застосування теплових і електромагнітних екранів. Розроблено математичну модель, яка характеризує витрати енергії під час індукційного наплавлення тонких сталевих дисків.*

***Індукційне наплавлення, сталевий диск, електромагнітний екран, теплове поле, енергія, математична модель.***

**Постановка проблеми.** Широке застосування в сільськогосподарській техніці знайшли робочі органи, які виконано у вигляді дисків лущильників, ножів гичкорізів, дисків для зрізування соняшнику тощо. Для підвищення зносостійкості та самозагострювання під час експлуатації робочі поверхні відновлюють різними методами наплавлення. Найчастіше для відновлення деталей, виконаних у вигляді тонких дисків використовують індукційне наплавлення порошкоподібними твердими сплавами.

**Аналіз останніх досліджень.** У працях [1, 2] розкрито сутність способу індукційного наплавлення тонких фасонних дисків з використанням кільцевих індукторів спеціальної конструкції. При цьому наплавлення проходить одночасно по всій зоні зміцнення з використанням теплових і електромагнітних екранів, але без обертання

© Ч. В. Пулька, В. М. Барановський, В. Я. Гаврилюк, В. С. Сенчишин, 2015

деталі відносно індуктора. За такого способу відновлення робочих органів підвищується продуктивність праці в 4–5 рази та майже відсутня деформація робочих поверхонь, тобто усувається необхідність проведення додаткової операції рихтування.

На основі проведених досліджень було встановлено, що відомий спосіб наплавлення можна вдосконалити шляхом підведення питомої потужності нагрівання за відповідним законом і тим самим досягнути зменшення електроенергії, необхідної для процесу наплавлення.

**Мета досліджень** – зменшення затрат енергії для відновлення поверхонь робочих органів методом наплавлення шляхом розробки математичної моделі та оптимізації параметрів процесу.

**Результати досліджень.** У тонкому фасонному диску (рис. 1) на заштрихованій області необхідно створити температуру  $T_{зд}$ , яка забезпечить якісне наплавлення за мінімальних затратах енергії.

Для запобігання втрат тепла всю область диска, крім зони наплавлення термічно ізолюємо, тобто встановлюємо тепловий екран (рис. 1).

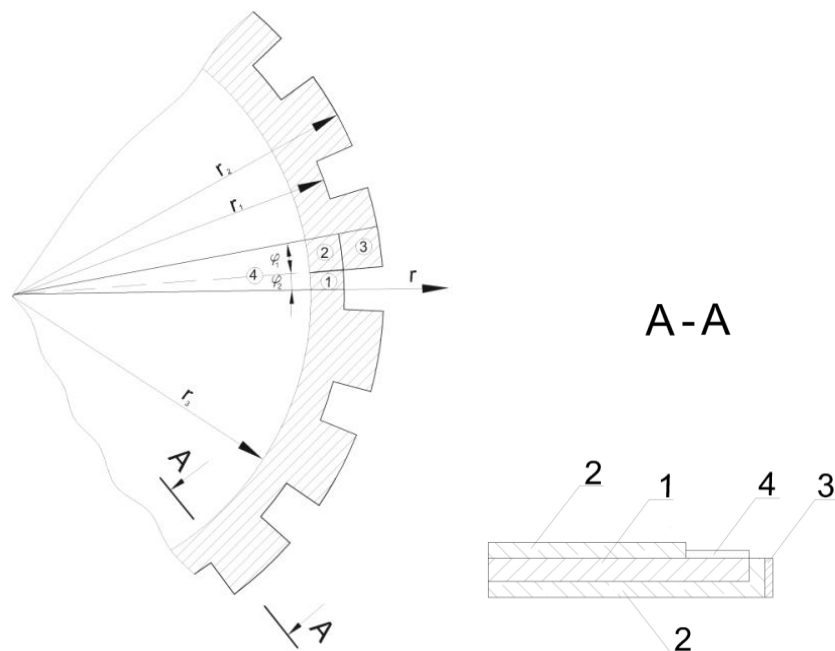


Рис. 1. Фасонний диск: 1 – диск; 2 – тепловий екран; 3 – електромагнітний екран; 4 – наплавлений метал).

Рівняння теплопровідності для елемента диска з урахуванням усередненої температури і питомої потужності за його товщиною має вигляд [3]:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} - mT + \frac{W(r, \varphi, t)}{\lambda_D}, \quad (1)$$

де:  $T = T^* - T_c$  – температура диска та середовища,  $T^* = const$ ,  $T_c = const$ ;  $m = B_i / 2h^2$ ,  $B_i = 2hk$  – критерій Біо,  $2h$  – товщина диска;  $k = \alpha / \lambda$ ,  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $\lambda$  – теплопровідність матеріалу диска;  $W(r, \varphi, t)$  – функція розподілу питомої потужності джерела;  $\lambda_D = ca\gamma$ ,  $c$  – питома теплоємність,  $a$  – теплопровідність,  $\gamma$  – густина.

У нашому випадку критерій  $B_i$  відрізняється від нуля при  $r \geq r_3$ , а за  $r < r_3$  критерій  $B_i = 0$ . У зв'язку з тим, що температурне поле створюється за допомогою кільцевих індукторів, воно матиме розподіл одночасно по всій зоні наплавлення, за якого в диску на лініях  $\varphi = 0$  і  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$  (рис. 1) відсутні потоки тепла в кільцевому напрямку, тобто при цьому  $\partial T / \partial \varphi = 0$ . На всіх інших лініях, які розділяють області 1, 2, 3, 4 рівні температури і потоки тепла, а на вільних торцях має місце умова конвективного теплообміну. Також відсутній потік тепла  $\lambda(\partial T / \partial r)$  через центр диска.

Запишемо наступні граничні умови та умови спряження:

$$\partial T_4 / \partial r = 0 \text{ при } r = 0; \quad (2)$$

$$T_2 = T_3; \partial T_2 / \partial r = \partial T_3 / \partial r; \partial T_1 / \partial r + kT_1 = 0 \text{ при } r = r_1; \quad (3)$$

$$\partial T_3 / \partial r + kT_3 = 0 \text{ при } r = r_3; \quad (4)$$

$$T_1 = T_4; \partial T_1 / \partial r = \partial T_4 / \partial r; T_2 = T_4; \partial T_2 / \partial r = \partial T_4 / \partial r \text{ при } r = r_3; \quad (5)$$

$$\partial T_2 / \partial \varphi = 0; \partial T_3 / \partial \varphi = 0; \partial T_4 / \partial \varphi = 0 \text{ при } \varphi = \varphi_1 + \varphi_2; \quad (6)$$

$$T_1 = T_2; \partial T_1 / \partial r = \partial T_2 / \partial r; \partial T_3 / r \partial \varphi - kT_3 = 0 \text{ при } \varphi = \varphi_1; \quad (7)$$

$$\partial T_1 / \partial \varphi = 0; \partial T_4 / \partial \varphi = 0 \text{ при } \varphi = 0. \quad (8)$$

Тут і в подальшому величини з індексами 1, 2, 3, 4 відповідають областям диска 1, 2, 3, 4 (рис. 1).

Початкові умови будуть наступними:

$$T_1 = 0; T_2 = 0; T_3 = 0; T_4 = 0 \text{ при } t = 0. \quad (9)$$

В кінці наплавлення, після припинення подачі енергії від теплових джерел, температура в зоні наплавлення повинна бути рівна заданій  $T_{3\partial}$ , тобто:

$$T_1 = T_{3\partial}; T_2 = T_{3\partial}; T_3 = T_{3\partial} \text{ при } t = \tau, r \geq r_3. \quad (10)$$

Якщо потужність теплових джерел задана, тоді шляхом розв'язку рівняння (1) за граничних умов (2)-(8) і тимчасових умов (9) отримаємо розподіл температури в диску.

У нашому випадку потужність теплових джерел не задана. Тому закон зміни теплових джерел знаходимо з умови мінімуму енергії, яка необхідна для наплавлення, тобто:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\tau \left( \int_{r_2}^{r_1} W_1^2 r dr d\varphi + \int_{r_2}^{r_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} W_2^2 dr d\varphi + \int_{r_1}^{r_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_1 + \varphi_2} W_3^2 dr d\varphi + \int_0^{r_2} \int_0^{\varphi_1 + \varphi_2} W_4^2 dr d\varphi \right) dt \rightarrow \min. \quad (11)$$

Використовуючи метод множників Лагранжа [4] для визначення режимів накладання питомих потужностей, отримаємо формули:

$$W_i = \bar{T}_i / \lambda_D, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (12)$$

де:  $\bar{T}_i$  задовольняють диференціальному рівнянню:

$$\frac{\partial^2 \bar{T}_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{T}_i}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \bar{T}_i}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{a} \frac{\partial \bar{T}_i}{\partial t} - m \bar{T}_i = 0, \quad (13)$$

граничним умовам і умовам спряження, аналогічним (2)–(8) та тимчасовій умові:

$$\bar{T}_4 = 0 \quad \text{при} \quad t = \tau. \quad (14)$$

Застосувавши до рівнянь (1) і (13) перетворення Лапласа за формулою  $\tilde{f} = \int_0^\infty f e^{-st} dt$  та враховуючи при цьому початкові умови, отримаємо:

$$\frac{\partial^2 \tilde{T}_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tilde{T}_i}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \tilde{T}_i}{\partial \varphi^2} - \left( m + \frac{s}{a} \right) \tilde{T}_i + \frac{\tilde{W}_i}{\lambda_D} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{\bar{T}}_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\bar{T}}_i}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \bar{\bar{T}}_i}{\partial \varphi^2} - \left( m - \frac{s}{a} \right) \bar{\bar{T}}_i - \frac{\bar{T}_i^0}{a} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (16)$$

де:  $\bar{T}_i^0$  – значення множників Лагранжа при  $t = 0$ .

Необхідно також відмітити, що функції  $\tilde{T}_i$ ,  $\bar{\bar{T}}_i$  повинні задовольняти граничним умовам та умовам спряження (2)–(8), в яких над функціями необхідно поставити знак  $\sim$ .

Оскільки в областях 1, 2, 3 (рис. 1) в кінці наплавлення  $t = \tau$  необхідно мати задану температуру  $T_{з\partial}$ , величини  $\bar{T}_1^0$ ,  $\bar{T}_2^0$ ,  $\bar{T}_3^0$  необхідно визначити із умов (10). В області 4 достатньо  $\bar{T}_4^0$  знайти із умови (14). Після знаходження функцій  $\tilde{T}_i$ ,  $\bar{\bar{T}}_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), їх оригінали визначаємо за теоремою згортання, а необхідні питомі потужності зовнішніх теплових джерел  $\tilde{W}_i$  за формулами (12).

Розв'язок системи рівнянь (15), (16) за вказаних граничних умов і умов спряження є доволі складним і громіздким. Тому в області наплавлення введемо усереднені значення величин  $\tilde{T}_i$ , прийнявши їх незалежними від координат. Тоді згідно з (12) і (15) приймаємо  $\tilde{W}_1 = \tilde{W}_2 = \tilde{W}_3$ ,  $\bar{\bar{T}}_1 = \bar{\bar{T}}_2 = \bar{\bar{T}}_3$ , які також не залежать від координат.

Із (15) і (16) з урахуванням (12) знаходимо:

$$\bar{\bar{T}} = 2 \frac{\bar{T}^0}{s - am}; \quad \tilde{T} = 2 \frac{\bar{T}^0 a}{\lambda_D^2 (s^2 - a^2 m^2)}. \quad (17)$$

Оригінали останніх величин з урахуванням умови  $T(t = \tau) = T_{з\partial}$ , тобто шукані функції будуть мати вигляд:

$$\bar{T} = 2\bar{T}^0 e^{atm}; T = 2 \frac{\bar{T}^0}{\lambda_D^2} sh(atm), \quad (18)$$

де:  $\bar{T}^0 = T_{30} \lambda_D^2 m / 2 sh(am\tau)$ , а питомі потужності, які знайдено за допомогою (12), мають вигляд:

$$W = W_1 = W_2 = W_3 = \frac{\lambda_D m}{sh(am\tau)} T_{30} e^{amt}. \quad (19)$$

На основі аналізу (18), (19) встановлено, що для отримання необхідної температури в зоні наплавлення за час  $\tau$  за мінімальних затрат енергії, питому потужність теплових джерел необхідно змінювати за законом (19). Оскільки область  $0 \leq r \leq r_3$  термічно ізольована та не підлягає наплавленню, використання теплових джерел в цій області недоцільне, тобто тут  $W_4 = 0$ .

Температурне поле в області  $0 \leq r \leq r_3$  знаходимо за допомогою рівняння (15), в якому необхідно прийняти  $W_4 = 0$ , а на краю області  $r = r_3$  температура змінюється за відомим законом  $T_4 = T$ , де  $T$  задано співвідношенням (18).

З урахуванням симетрії температурного поля маємо:

$$\tilde{T}_4 = AI_0(x) + Bk_0(x), \quad (20)$$

де:  $x = ar$ ,  $a = \sqrt{s/a}$ ;  $I_0(x)$ ,  $k_0(x)$  – модифіковані функції Бесселя і Ганкеля нульового порядку.

Температура в центрі диска повинна бути обмежена, тому приймаємо  $B = 0$ . Задовольнивши вимоги  $\tilde{T}_4 = \tilde{T}$  при  $r = r_3$  для  $\tilde{T}_4$  отримаємо наступний вираз:

$$\tilde{T}_4 = \frac{I_0 \sqrt{rs/a}}{sh(am\tau)(s^2 - a^2 m^2) I_0(\sqrt{r_2 s/a})} am T_{30}. \quad (21)$$

Застосувавши теорему згортання з (21) визначимо температуру  $T_4$ :

$$T_4 = \left( \frac{I_0 \sqrt{mr}}{2am I_0(\sqrt{mr_2})} e^{amt} - \frac{J_0(\sqrt{mr}) e^{-am\tau}}{2am J_0(\sqrt{mr_2})} + \right. \\ \left. J_0 \left( a_k \frac{r}{r_2} e^{-a \left( \frac{a_k^2}{r_2^2} \right) \tau} \right) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{r_2}{a \left[ \left( \frac{a_k^2}{r_2^2} \right)^2 - m^2 \right] \frac{r_2^2 J_1(a_k)}{2a_k}} \right) \frac{am}{sh(am)} T_{30}, \quad (22)$$

де:  $J_0(x)$ ,  $J_1(x)$  – функції Бесселя першого роду і першого порядку;

$a_k$  – корені рівняння;  $J_0(a_k) = 0$ .

Для оцінки економії електроенергії, яка досягається завдяки зміні питомої потужності, за оптимальним (енергоощадним) законом знайдемо постійну питому потужність, що визначається за формулою (19) яка необхідна для нагрівання диску за час  $t$  до заданої температури  $T_{з0}$  в зоні наплавлення:

$$T = \frac{W}{\lambda_D m} (1 - e^{-amt}), \text{ або } W = \frac{T_{з0} \lambda_D m}{1 - e^{-amt}}. \quad (23)$$

Тому, що питома потужність змінюється за законом (19), тоді питома енергія визначається:

$$N_1 = \int_0^\tau \frac{T_{з0} \lambda_D m}{sh(am\tau)} e^{amt} dt = \frac{T_{з0} \lambda_D}{sh(am\tau) a} (e^{am\tau} - 1). \quad (24)$$

У випадку постійної питомої потужності, яка визначається за формулою (25), отримуємо:

$$N_2 = \frac{T \lambda}{1 - e^{-am\tau}} m \tau. \quad (25)$$

Тоді економію електроенергії знайдемо за формулою:

$$\Delta \frac{N_1 - N_2}{N_2} 100\% = \left\{ 1 - \frac{2[sh(am\tau) - 1]}{am\tau sh(am\tau)} \right\} 100\%. \quad (26)$$

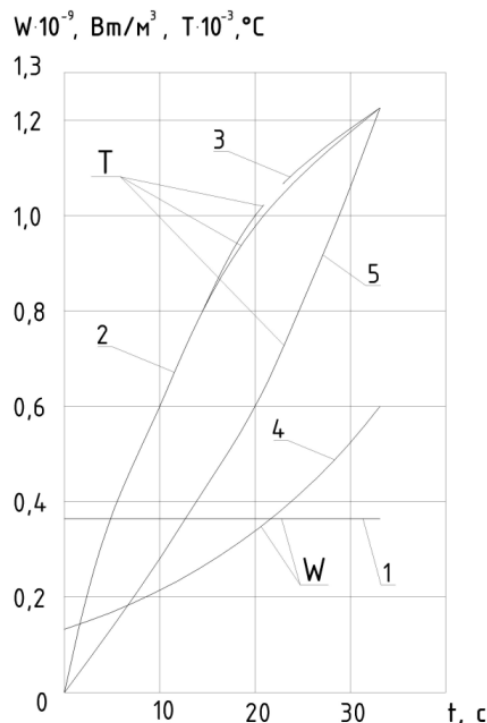


Рис. 2. Зміна питомої потужності і температури в зоні наплавлення залежно від часу: 1, 2 – теоретична питома потужність і температура; 3 – експериментально визначена температура; 4, 5 – оптимальна питома потужність і температура.

На основі результатів теоретичних досліджень і експериментальних даних отримано залежності питомої потужності об'ємних теплових джерел і температури в зоні наплавлення від її часу для випадку наплавлення порошкоподібним твердим сплавом ПГ-С1 на диск зі сталі Ст3 (рис. 2).

Розрахунки показують, що оптимальний (енергоощадний) режим нагрівання забезпечує економію 15...25% енергії (в залежності від наплавлювальних матеріалів). Наприклад, при наплавленні матеріалом ПГ-АН9 (НХ8С2Р3П) економія складає 23%, а при наплавленні матеріалом ПГ-С1-15%.

Характерною ознакою розподілу температурного поля по радіусу диска (рис. 3) є те, що при віддаленні від зони наплавлення до центра диска температура швидко спадає так, що починаючи з середини радіуса диска вона практично рівна температурі навколишнього середовища, тобто всередині цієї області диск майже не нагрівається.

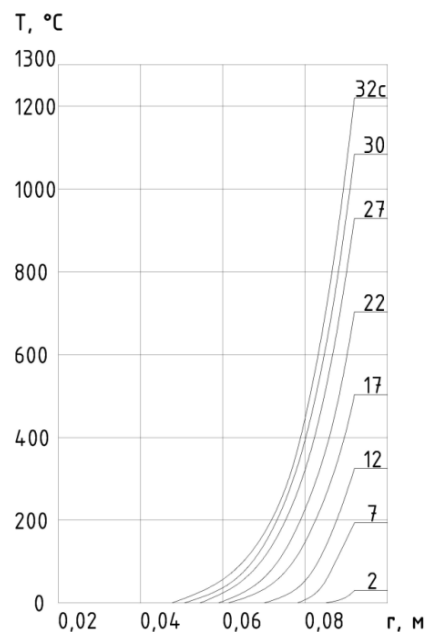


Рис. 3. Розподіл температури залежно від радіуса диска для різних проміжків часу наплавлення.

**Висновок.** Зміна в часі питомої потужності теплових джерел в зоні наплавлення тонких фасонних дисків за енергоощадним режимом забезпечує економію електроенергії в розмірі 15...25 % залежно від використовуваних наплавлювальних матеріалів.

### Список літератури

1. Шаблій О. Н. Оптимизация индукционной наплавки тонких дисков с учетом теплового и электромагнитного экранирования / О. Н. Шаблій, Ч. В. Пулька, А. С. Письменный // Автоматическая сварка. – 2003. – № 9. – С. 22–25.



2. Патент № 93288 UA, МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонкостінних деталей / Шаблій О. М., Пулька Ч. В., Базар М. С.; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – № а 200905554; заявл. 01.06.2009; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Био М. Вариационные принципы в теории теплообмена / М. Био, А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1975. – 208 с.
5. Фролов В. В. Теоретические основы сварки / В. В. Фролов. – М.: Высшая школа, 1970. – 592 с.

*В статье описано метод индукционной наплавки тонких фасонных дисков с использованием кольцевых индукторов путем применения тепловых и электромагнитных экранов. Разработано математическую модель, которая характеризует затраты энергии во время индукционной наплавки тонких стальных дисков.*

**Индукционная наплавки, стальной диск, электромагнитный экран, тепловое поле, энергия, математическая модель.**

*The paper describes the induction welding method of thin shaped disks with using of ring inductors by application of heat and electromagnetic screens. Developed a mathematical model that describes the energy consumption during the induction welding of thin steel disks.*

**Induction welding, steel disc, electromagnetic screen, thermal field, energy, mathematical model.**

УДК 621.43.068.4

## **ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВИГУНІВ ЛІСО- І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ**

**О. А. Бешун, О. А. Марус, кандидати технічних наук**

*Розглянуто основні шкідливі компоненти відпрацьованих газів двигунів сучасних сільсько- і лісогосподарських тракторів, проаналізовано механізми, причини та умови їх утворення, а також шляхи мінімізації шкідливих викидів.*

**Екологія, двигун, дизель, токсичність, димність, відпрацьовані гази, викиди, норма, стандарт, Stage, Euro, Tier.**

© О. А. Бешун, О. А. Марус, 2015

**Постановка проблеми.** Проблема захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів теплових двигунів є не менш актуальною, ніж економія енергетичних ресурсів. У всіх індустріально розвинутих країнах світу ведуться інтенсивні пошуки шляхів зниження токсичності і димності ВГ (відпрацьованих газів) теплових двигунів, особливо транспортних. Зараз у світі діє система міжнародних, міждержавних, державних та галузевих стандартів, що поширюється на бензинові двигуни легкових та вантажних автомобілів, а також автобусів і на автомобільні, тракторні та комбайнові дизелі.

**Аналіз останніх досліджень.** Очевидно, що актуальність пошуку шляхів вирішення проблеми зменшення навантаження на довкілля буде лише посилюватись з часом [1, 2]. Не виключенням у цьому відношенні є галузі лісо- і сільськогосподарського виробництва, в яких задіяно велику кількість машин, обладнаних, як правило, дизельними двигунами. Останні, як відомо, є одними з найбільших забруднювачів довкілля і, як показує практика, далеко не вичерпали потенціалу свого вдосконалення. Введення на законодавчому рівні жорстких норм токсичності і димності ВГ автотракторних двигунів та жорстка конкуренція – два фактори, які останнім часом стимулюють провідні двигунобудівні корпорації та фірми кардинально вдосконалювати двигуни, застосовуючи прогресивні новітні технології. Сприяє цьому також стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки, цифрових технологій, датчиків та виконавчих механізмів, які стають невід’ємними складовими сучасних двигунів і їх систем [3]. Слід відмітити, що встановлені обмеження і методи визначення вмісту токсичних речовин постійно вдосконалюються і змінюються як в напрямку встановлення нових допустимих норм та вдосконалення методів випробувань, так і в розробці нових вимог до обмеження токсичних речовин таких як свинець, окиси сірки, канцерогенні та інші [1].

**Мета досліджень** – узагальнити інформацію відносно основних шкідливих компонентів ВГ двигунів сучасних сільсько- і лісогосподарських машин, проаналізувавши механізми, причини і умови їх утворення, а також встановити шляхи мінімізації шкідливих викидів.

**Результати досліджень.** Призначення ДВЗ (двигунів внутрішнього згоряння) – перетворити хімічну енергію палива в теплову, а її – в механічну роботу. Мета досягається реалізацією декількох послідовних процесів, які можна звести до трьох укрупнених: приготування горючої паливоповітряної суміші певного складу зовні або всередині циліндра (сумішоутворення); запалювання; згоряння (окислення). Причому принципова відмінність ДВЗ, працюючих за циклами Отто і Дизеля, полягає лише в способі запалювання робочого заряду: примусовим запалюванням від стороннього джерела (іскрового розряду на свічці) або самозайманням, викликаним високою

температурою, отриманою внаслідок стиснення повітря. І це зрозуміло: якщо раніше в окремі групи виділяли карбюраторні, газові і інші типи двигунів, то після створення бензинових ДВЗ з безпосереднім впорскуванням палива, спиртових і інших моделей відмінності робочих процесів в екологічному аспекті можна вважати неістотними і, отже, мати право аналізувати їх з позицій загальних закономірностей термодинаміки і хімічної кінетики з деякими поправками. Наприклад, природа виникнення гарячого полум'я, що розповсюджується по го-мо- або гетерогенному зарядам, у двигунів з іскровим запалюванням і дизелів різна, оскільки в першому випадку джерелами є одна або декілька високотемпературних, фіксованих по місцю розташування свічок, в другому – результат виникнення невизначених по місцю і часу первинних спалахів низькотемпературного полум'я з саморозгоном реакцій і накопиченням активних проміжних продуктів, що витрачаються в подальших стадіях, але що приводять, зрештою, теж до гарячого полум'я. Саме в його вузькому фронті або в безпосередньо прилеглому шарі продуктів згоряння в основному завершуються реакції окислення і утворюються токсичні компоненти ВГ. З таких позицій і розглянемо процеси утворення екологічно шкідливих речовин в камерах згоряння двигунів. Почнемо з двигунів, що працюють на традиційних для ДВЗ рідких паливах нафтового походження, які, як відомо, є сумішами вуглеводнів парафінового (алкани), олефінового (алкени), нафтенowego (циклани) і ароматичного (ароматики) рядів з числом атомів вуглецю в молекулі від 5 до 30. Найменш стабільні, у тому числі і в умовах камери згоряння, алкани з ланцюговою будовою молекул (від  $C_5H_{12}$  до  $C_{13}H_{28}$ ). Вони окислюються вже при температурах, більше 573 K (300 °C), утворюючи перекиси. Найменш стабільні ароматики з кільцевою будовою і бензольним ядром, що мають високі октанові, і, відповідно, низькі цетанові числа. На жаль, сказати, що механізми і закономірності екзотермічного окислення перерахованих речовин повністю вивчені, поки не можна.

По-перше, достатньо надійно може бути описано згоряння тільки палив, молекули яких мають в своєму складі не більше двох атомів вуглецю; моделі згоряння пропану і бутану знаходяться у стадії інтенсивної розробки, а механізм згоряння октану може бути представлений тільки в гіпотетичній формі. По-друге, при згорянні сумішей вуглеводнів з повітрям, вміст якого менший стехіометричного, утворюється сажа, механізм утворення якої ще явно недостатньо зрозумілий. Відносно механізму утворення екологічно шкідливих продуктів згоряння залишається ще багато неясного. Встановлений лише механізм утворення оксидів азоту при високих температурах згоряння, але дуже погано зрозумілий механізм утворення оксиду азоту з молекул палива, які містять азот, або в результаті реакцій

радикалів, які містять вуглеводні з молекулою азоту. Незрозуміло також, як відбувається зворотний процес перетворення оксидів азоту, що утворилися, в молекулярний азот в межах основної зони полум'я. Поки залишається дуже низьким рівень розуміння хімії сірчистих з'єднань в полум'ї. З урахуванням обчислювальних можливостей сучасних ПК доводиться йти на сильні спрощення газодинамічних або кінетичних аспектів. Іншими словами, немає надійної теоретичної бази, що дозволяє якісно виконати кількісний аналіз хімічного перетворення палива в продукти його згоряння з утворенням токсичних речовин. Повний набір елементарних ланцюгових реакцій, який називається механізмом хімічного перетворення, розглядається, як правило, на макроскопічному рівні, тобто безліч елементарних актів замінюється одним або декількома основними, визначаючими перебіг всієї реакції. Так діятимемо і ми. Правомірність підходу доводиться адекватністю постулюємих закономірностей результатів експериментів, багато разів поставлених на різних типах і моделях двигунів.

Перш за все, відзначимо загальний напрям впливу зміни деяких параметрів робочого процесу на утворення двох специфічних за природою виникнення груп шкідливих речовин. До першої групи відносяться продукти неповного згоряння палива: оксид вуглецю, вуглеводні, альдегіди, сажа; другу складають речовини повного окислення хімічних елементів, що входять в склад як енергоносія, так і повітря – оксиди сірки і азоту. Як відомо з хімічної кінетики, згідно рівнянню Арреніуса швидкість будь-якої реакції лінійно залежить від концентрацій реагуючих компонентів (стосовно згоряння палива в ДВЗ – від концентрацій вуглеводнів і кисню в робочому заряді) і експоненціально – від температури. Звідси витікає, що всяка зміна робочого процесу у напрямі зменшення утворення токсичних з'єднань однієї групи обов'язково приведе до збільшення присутності у ВГ речовин іншої. Наприклад, підвищення температури згоряння і збіднення суміші викликають зменшення викиду оксиду вуглецю з одночасним збільшенням виділення оксидів азоту. Цей чинник показав свого часу в штаті Каліфорнія, США, що жорстке обмеження викиду двигунами автомобілів оксиду вуглецю при реалізації однонаправлених антитоксичних заходів не тільки не поліпшило гігієнічну якість атмосфери, але, навпаки, зробило її непридатною для людини за вмістом оксидів азоту. Довелося міняти технічну політику в двигунобудуванні і експлуатації автомобілів.

Таким чином, необхідно спочатку оптимально організувати робочий процес в екологічному плані з урахуванням індивідуальної шкідливості кожної шкідливої речовини, яка виділяється в процесі його реалізації. Для цього слід встановити закономірності утворення в циліндрах забруднювачів атмосфери і розробити комплексний кри-

терій або критерії оцінки сумарної шкідливості ВГ двигунів і автомобілів (останніх з урахуванням виконуваної корисної роботи при перевезеннях). Розглянемо сучасне тлумачення механізмів утворення токсичних сполук. Основним з нормованих в даний час компонентів ВГ двигунів з іскровим запалюванням є *оксид вуглецю* – CO (*чадний газ*). Утворення його в циліндрі звичайно пов'язують зі згорянням бідних сумішей, пояснюючи причину недоликом окислювача для повного завершення реакцій і недосконалістю сумішоутворення, що обмежує доступ кисню до молекул вуглеводнів. Квазіглобальна схема хімічних перетворень в цьому випадку має вигляд:  $C_nH_m + 0,5 \cdot n \cdot O_2 \rightarrow n \cdot CO + 0,5 \cdot m \cdot H_2O$ . Насправді реакція ланцюгова з набором елементарних актів, умовно представлених таким чином:  $RH \rightarrow R \rightarrow RO_2 \rightarrow RCHO \rightarrow RCO \rightarrow CO$ , де R – радикал, тобто група атомів, перехідна в реакціях без змін з одного з'єднання в інше. Навіть для найпростішого з вуглеводнів метану  $CH_4$  по схемі академіка Н.Н. Семенова вона є слабо розгалуженим ланцюгом, що складається з 11 реакцій з участю активних радикалів  $CH_3$ ,  $HO_2$ ,  $OH$ ,  $HCO$ , а також менш активних, але, хімічно нестійких проміжних продуктів  $HCHO$  (формальдегід) і  $H_2O_2$  (перекис водню). Оксид вуглецю, що утворився, доокислюється, до кінцевого продукту в ході також ланцюгової реакції:  $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$ ;  $H + O_2 \rightarrow OH + O$ ;  $CO + O \rightarrow CO_2$ , відбувається тільки у присутності водяної пари або водню. Окислення важких вуглеводнів здійснюється по значно складніших схемах.

Як доповнення до перерахованих перетворень має місце дисоціація діоксиду вуглецю, яка описується формулою  $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$ . В дизелях, завжди працюючих при сумарному по камері згоряння коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha > 1$ , вірогідність даних перетворень у фронті гарячого полум'я мала, проте в їх циліндрах знаходяться додаткові джерела утворення CO. До них відносяться: низькотемпературні холодні ділянки полум'я на стадії запалювання палива; його краплі, що поступають при впорскуванні в об'єм з частково використаним на окислення вуглеводнів киснем і згоряють дифузійно; частинки сажі, що утворилася в період розповсюдження турбулентного полум'я по гетерогенному заряду, в якому при загальному надлишку  $O_2$  ( $\alpha \sim 1,3$ ) можуть створюватися зони з його дефіцитом і протікати реакції вигляду  $C + 0,5 \cdot O_2 \rightarrow 2CO$ .

У результаті в циліндрі двигунів з іскровим запалюванням на початку і в кінці такту розширення зберігаються приблизно постійними об'ємні концентрації оксиду вуглецю: при стехіометричному складі суміші – 5 %, при роботі на збіднених сумішах – 1 %. У дизелів на початку такту розширення вони одного порядку з вказаними, але потім швидко знижуються і до моменту відкриття випускних клапанів вже складають тільки десяті частки відсотка. Резюмуючи ви-

словлене, можна сказати, що визначальним чинником присутності оксиду вуглецю у ВГ двигунів з іскровим запалюванням є склад суміші, а температура процесу горіння відіграє другорядну роль, у дизелів – навпаки. Обидва параметри, у свою чергу, взаємозв'язані, оскільки перехід на багаті суміші (великі навантаження) завжди викликає підвищення температури процесу.

Другий, також нормований компонент ВГ – група вуглеводнів, що налічує багато десятків індивідуальних з'єднань, які умовно позначаються одним символом  $C_mH_n$  (або  $C_nH_m$ , чи  $CH_x$ ). Додатково виникає їх емісія у складі паливних випаровувань. При аналізі закономірностей утворення вуглеводнів в циліндрі також використовується описана вище квазіглобальна модель, яку розглядають одночасно з моделлю утворення оксиду вуглецю. Аналіз приводить до висновку, що у разі добре організованого згорання палива і конструктивно відпрацьованих з теплової точки зору камер згорання виділення вуглеводнів може бути достатньо незначним. Реальна, підвищена їх емісія, яка спостерігається як в двигунах з іскровим запалюванням, так і в дизелях, пов'язана, в основному, з придушенням холодними стінками камери згорання реакцій окислення в приграничному шарі завтовшки 0,05...0,40 мм. «Заморожуються» вуглеводні також в зазорах між поршнем і стінками циліндра під першим поршневым кільцем, навколо клапанів, між поверхнею поршня і кришкою циліндра.

Третю групу складають кисневмісні вуглеводні – альдегіди, які узагальнено позначаються символом  $RCHO$ . У ВГ, в основному, виявляються *формальдегід* і *акролеїн*. Перший з них замикає гомологічний ряд насичених альдегідів, другий – ненасичених. Викид альдегідів поки нормується тільки для дизелів і лише при їх експлуатації в погано вентильованих об'ємах (підземне виробництво, тунелі, кар'єри і т. д.). В двигунах, що працюють по циклу Отто, вони утворюються в пристінкових шарах і зазорах при придушенні кінетичних ланцюгів окислення вуглеводнів. Володіючи великою реакційною здатністю, незалежно від режиму роботи двигуна, вони практично повністю вигоряють в циліндрах. Хоча, при детонаційно-подібному горінні емісія альдегідів згідно розрахункам повинна зростати, проте експериментального підтвердження їх результатів поки нема. У ВГ дизелів присутність аналізованих кисневмісних вуглеводнів в значних кількостях спостерігається при роботі на малих навантаженнях двигунів і при їх пуску, особливо холодному. Це пов'язано з фактом утворення більшості альдегідів в процесі низькотемпературного багатостадійного запалювання робочого заряду. Зокрема, світіння холодного полум'я пояснюють наявністю в ньому оптично збуджених молекул формальдегіду. При великих навантаженнях двигуна альдегіди встигають згоріти в циліндрі на такті розширення, при малих і

при пуску холодного дизеля вони присутні у ВГ. Четвертим компонентом продуктів неповного згоряння палива є сажа, частинки якої складаються, в основному, з твердого вуглецю з включенням 1...3 % хімічно і фізично зв'язаного водню, а також сорбуємих їх розвинутою поверхнею (1 г сажі має поверхню порядку  $75 \text{ м}^2$ ) шкідливих речовин, стимулюючих ракові захворювання в результаті наявності канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАУ). Сажа, як і будь-який пил, подразнює дихальні шляхи, викликаючи хронічні захворювання, але головна її небезпека полягає в тому, що тверді частинки забезпечують тривалий контакт і засвоєння канцерогенів живими тканинами. Потрапивши в організм, ПАУ акумулюються ним, поступово нагромаджуючись до критичних концентрацій, коли поява злоякісних пухлин стає фатальною неминучістю.

Присутність сажі у ВГ обумовлює їх *оптичну непрозорість (димність)*, що небажано в аспекті безпеки руху і з погляду суб'єктивно-моральної оцінки небезпеки двигунів в екологічному плані. Аналіз механізму утворення сажі і наявності її у ВГ дозволяє відповісти на питання: чому, будучи продуктом неповного згоряння палива, вона виявляється перш за все у викидах дизелів, процес згоряння в яких відбувається при загальному надлишку кисню і лише в незначних кількостях – в двигунах, що працюють по циклу Отто, де майже завжди має місце недолік окислювача?

Розрізняють чотири фази формування конгломератів сажі, що знаходяться у ВГ двигунів: *утворення зародків*; *їх зростання до первинних частинок*, що є скупченням кристалітів, які, в свою чергу, складаються з трьох-п'яти пластинок графітних шестикутників; *коагуляція* до розвинутих конгломератів; *вигоряння* складних утворень. Початкові два акти цього ланцюга хіміко-фізичних перетворень, що приводять до появи первинних частинок, є сумарним підсумком наступних процесів: піроліз (крекінг) – термічне розкладання (розщеплювання) молекул вуглеводнів; гідрогенізація – високотемпературні реакції приєднання водню до різних з'єднань і зворотний йому процес – дегідрогенізація; полімеризація – реакції з'єднання однакових молекул ненасичених з'єднань-мономерів в одну укрупнену – полімер; конденсація – реакція приєднання двох і більше молекул до первинної з утворенням дуже великих елементарних частинок іншого вигляду. Передбачити визначаючий з них для всіх умов утворення сажі неможливо. При відносно низьких температурах (менше 1500 K) реакції полімеризації і конденсації переважають над реакціями дегідрогенізації, і зародками можуть бути, перш за все, ароматичні вуглеводні; високим температурам відповідають піроліз і гідрогенізація, а димами є практично будь-які вуглеводні. Концентраційний інтервал початку утворення сажі складає по коефіцієнту надлишку повітря

$\alpha = 0,33 \dots 0,70$ . За наявності в двигунах з іскровим запалюванням практично гомогенного робочого заряду вірогідність появи таких збагачених зон в камері згорання невелика. Немає умов також для зростання і коагуляції первинних частинок, зате висока температура робочого тіла після проходження гарячого полум'я сприяє інтенсивному вигоранню малих за розмірами утворень сажі. Цими чинниками пояснюється незначний викид сажі двигунами, що працюють по циклу Отто. У дизелів більш можливо утворення Perezбагачених локальних об'ємів, в яких забезпечується протікання перерахованих вище реакцій, що приводять до формування первинних утворень сажі і їх укрупнення. Цієї думки дотримуються всі теоретики і експериментатори, проте відносять момент з'явлення сажі в циліндрах до різних періодів робочого процесу. Представник однієї з шкіл, З. Мойрер, вважає, що первинні частинки з'являються на стадії запалювання, коли при прогресуючому зростанні температури середовища експоненціально зростає швидкість реакції за перекисним механізмом і надходження кисню в зону реакції відстає від потреби в ньому. У дизелів дим утворюється в результаті диспропорції між швидкостями крекінгу і подачі кисню, а вуглець, що утворився, може окислюватися до діоксиду тільки в реакції з парами води, вірогідність присутності яких поблизу крекінгуючих молекул занадто мала. З другого боку, на думку А.З. Соколіка, джерело димлення слід шукати в процесі розповсюдження турбулентного гарячого полум'я по камері згорання. Обидві концепції, мабуть, сумісні, але сажа, що утворилася за період запалювання встигає згоріти в циліндрі, а та, що з'явилася при горінні виявляється у ВГ. До токсичних кінцевих продуктів реакцій згорання відносяться *оксиди азоту* і *сірки*. Азот присутній в повітрі і паливі, в основному, в піридині  $C_5H_5N$  і його похідних, сірка – тільки в рідкому паливі. В нафтопродуктах міститься до 5 % азотних з'єднань, що за масою чистого азоту становить 0,3...0,6 %, вміст за масою сірки до останнього часу обмежувався 0,12 % для бензинів (бензин А-72) і 0,2 % для автомобільних дизельних палив, що виготовляються з малосіркових видів нафти (0,5 % – у одержуваних з сірчистих). У зв'язку з виснаженням ресурсів нафти намітився перехід до енергоносіїв з великим вмістом сірки.

*Азот дає п'ять оксидів: монооксид, або просто оксид – NO, діоксид – NO<sub>2</sub>, його полімери – тетраоксид, триоксид, пентаоксид, що позначаються сумарно символом NO<sub>x</sub>.*

На рис. 1 наведені моделі молекул і властивості різноманітних оксидів азоту. У ВГ двигунів виявляється, головним чином, оксид, який згодом доокислюється потім до діоксиду. За механізмом утворення при горінні розрізняють оксиди трьох видів: *термічні*, тобто що виходять при високотемпературному окисленні азоту повітря;



*паливні*, які виникають в результаті низькотемпературного окислення азотовмісних з'єднань енергоносія; *швидкі*, що утворюються внаслідок зіткнення вуглеводневих радикалів з молекулами азоту в зоні реакцій згоряння. Основна частка припадає на термічні оксиди азоту.

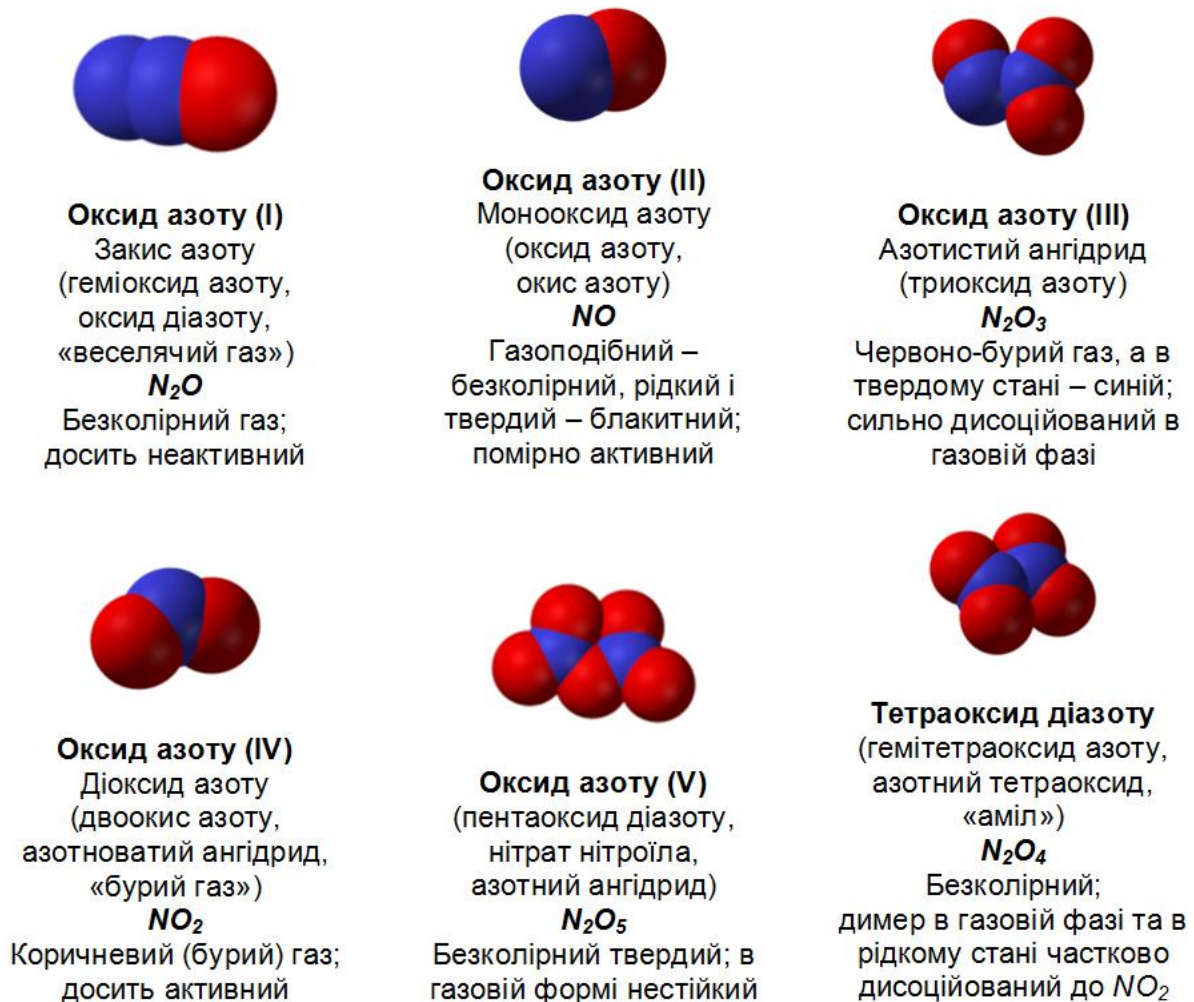
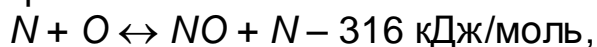


Рис. 1. Моделі молекул і властивості оксидів азоту.

Згідно загальноприйнятої теорії окислення азоту повітря, запропонованої Я. Б. Зельдовічем, П. Я. Садовніковим і Д. А. Франк-Каменецьким, швидкість реакцій не пов'язана з хімічною природою палива, визначається тільки термічним чинником, незалежно від того, яким способом здійснюється нагрів локального об'єму суміші. Окислюється азот по фронту полум'я в зоні продуктів згоряння. Реакції відбуваються по ланцюговому механізму, що включає наступні елементарні акти:



а також  $OH + N \leftrightarrow NO + N$  та  $NH + O_2 \leftrightarrow NO + OH$ .

Концентрації оксидів в процесі згоряння не перевищують рівноважні при максимальних температурах. Швидкопротікаючі процеси нагрівання, а потім охолодження суміші газів можуть приводити до істотно нерівномірних концентрацій, що пов'язане з тим, що швидкість реакцій експоненціально збільшується залежно від температури і зменшується – від величини енергії активації. Оксид азоту, який утворився в цьому випадку може існувати невизначено довгий час; це явище носить назву гартування. При горінні бідних сумішей істотний вплив на вихід оксиду азоту з реакцій надають нерівномірність температурного поля в зоні продуктів згоряння (так званий *Махе-ефект*) і присутність пари води. Вода в ланцюговій реакції окислення азоту служить *інгібітором* (речовиною, що уповільнює швидкість перебігу реакцій, свого роду «*антикаталізатором*»).

Механізми утворення паливного і швидкого оксидів азоту тільки почали вивчатися. Можна поки тільки констатувати факт, що азот палива легше вступає в реакції окислення, ніж азот повітря.

Хімічне, пов'язане з органічними речовинами рідких нафтових палив органічне середовище (в твердих енергоносіях присутні також колчеданна і сульфатна сірка) при горінні дає оксиди сірки, що позначаються умовно символом  $SO_x$  присутні, в основному, у вигляді ді- та триоксиду. Спочатку утворюється діоксид. При високих температурах і тиску у присутності каталізаторів він легко переходить в триоксид. В ДВЗ каталізаторами є: присутній в паливі пентаоксид ванадію, оксиди заліза, що містяться в шарі нагару на днищі поршня і стінках камери згоряння. З цієї причини співвідношення вмісту у ВГ між ді- і триоксидом змінюється залежно від теплового стану двигуна, його режиму роботи. Наприклад, на середніх навантаженнях дизеля триоксиду в його сумі з діоксидом складає 30 %, збільшуючись до 70 % при переході до роботи на номінальному режимі.

Присутність перерахованих забруднюючих атмосферу речовин у ВГ двигунів і їх викиди автомобілями нормуються [3]. При цьому лімітуючим фактором є шкідлива дія індивідуального хімічної сполуки на організм людини, яка обмежується значенням середньодобової гранично допустимої його концентрації в повітрі населених пунктів (ГДК). За пропозицією академічних і відомчих інститутів Російської Федерації, рекомендується приймати наступні значення коефіцієнта агресивності: оксид вуглецю – 1; оксид азоту в перерахунку на діоксид – 41,1; оксиди сірки в перерахунку на діоксид – 16,5; вуглеводні в перерахунку на вуглець – 1,26 для районів на північ від 45° п.ш. і 2,16 для більш південних районів; сажа – 200 для районів з кількістю опадів не менше 400 мм в рік і 240 для інших.

Варто відмітити, що ці значення постійно корегуються у міру накопичення статистичних даних, розробляються значення коефіці-

ентів для інших речовин. В умовах виснаження світових ресурсів нафти та газу актуальним стає пошук альтернативних джерел енергії. Ще більш актуальним є це питання для України, яка імпортує більшу частину традиційних видів палива. Внаслідок ряду причин (сприятливі кліматичні умови, чорноземи та ін.) для нашої країни великий інтерес являють види палива рослинного походження, такі як етиловий спирт, рослинні оливи та їх ефіри. При аналізі загальної ефективності використання того чи іншого альтернативного палива в ДВЗ більшу роль відіграють питання екології.

Екологічні показники дизелів можна покращити шляхом застосування палив біологічного походження (відновлюваних енергоносіїв), наприклад ріпакової олії (РО). Це дозволить зберегти баланс вуглекислого газу в атмосфері, що знижує ймовірність виникнення парникового ефекту, оскільки при спалюванні палива з біомаси викиди діоксану вуглецю спів ставні з його кількістю, яка поглинається в процесі фотосинтезу при вирощуванні цієї сировини. Внаслідок низького вмісту в РО сірки з ВГ дизелів в атмосферу викидається незначна кількість її оксидів, які є причиною випадання кислотних дощів. Однак застосування РО у високооберткових дизелях з нерозділеною камерою згоряння та безпосереднім впорскуванням палива обмежене внаслідок збільшення на 90...140 % емісії CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NO<sub>x</sub> і викидів твердих частинок, а також зниження ефективного ККД. Це пов'язано зі збільшенням періоду затримки запалювання РО, яка має більш низьке цетанове число в порівнянні зі стандартним дизельним паливом, та зміною умов розпилювання палива і сумішоутворення внаслідок більш високої в'язкості РО. Уникнути цих значних недоліків можна шляхом застосування системи живлення з двофазною паливоподачею. Проте така система вимагає кардинальної зміни штатної паливної апаратури.

Ефективний метод зниження токсичності ВГ, зокрема за викидами оксидів азоту та сажі – використання води при формуванні паливоповітряної суміші. Застосовувана вода може подаватись в ДВЗ (в рідкому стані) окремо від палива або разом з ним (у вигляді водопаливної емульсії), а також у вигляді водоповітряної аерозолі чи пари. При подачі води безпосередньо в циліндри ДВЗ емульсія утворюється на виході лінії високого тиску. При наявності у водопаливній емульсії від 20 до 30 % води (в залежності від режимів роботи) у дизелів можливо зменшити димність і на 20 % – викиди оксидів азоту. В інших випадках застосовують спеціально приготовану поза межами циліндрів ДВЗ водопаливну емульсію. Її стійке згоряння забезпечується при граничному вмісті у ній води до 65...67 %, а зниження концентрації частинок сажі – при 25...30 %. В цьому випадку до якості підготовки такої емульсії висуваються жорсткі вимоги, для вико-

нання яких необхідне спеціальне гідравлічне обладнання. Зокрема, впорскують в ємність з паливом воду під тиском 10...12 МПа. При цьому отриману водоналивну емульсію необхідно періодично інтенсивно перемішувати за допомогою відповідних пристроїв, оскільки емульсія характеризується низькою кінетичною стійкістю і у стані кінетичного спокою через деякий час розшаровується на вихідні компоненти. Крім того, необхідно забезпечити оптимальний розмір частинок води 1...5 мкм; при їх розмірі більше 10 мкм виникає корозія і підвищується інтенсивність зношування паливної апаратури. Таким чином, з точки зору застосування на автомобілях та самохідних лісо- і сільськогосподарських машинах, система зволоження повітря виходить відносно громіздкою та енергоємною.

**Висновок.** Всі провідні двигунобудівні компанії і виробники тракторів, автомобілів та інших мобільних машин поступово модернізують свою продукцію з метою дотримання вимог екологічних стандартів Euro, EPA emission standards, Stage та Tier. Основні сучасні технології, системи і агрегати для зниження викидів шкідливих речовин з ВГ ДВЗ наступні: EGR (Exhaust Gas Recirculation) – рециркуляція (перепуск) ВГ; SCR (Selective Catalyst Reduction) – селективна (вибіркова) каталітична нейтралізація ВГ (відновлення із застосуванням реагенту – сечовини); DOC (Diesel Oxidation Catalyst) – каталітичний окислювальний нейтралізатор; DPF (Diesel Particulate Filter) – сажевий фільтр (сажовловлювач); VGT (Variable Geometry Turbine) – турбокомпресор зі змінною геометрією; HPCR (High-Pressure Common Rail) – акумуляторна система паливоподачі з підвищеним тиском впорскування палива (від 120 (перше покоління) до 220 (четверте покоління) МПа); ULSD (Ultra-Low Sulfur Diesel) – дизельне паливо з наднизьким вмістом сірки; застосування проміжного охолодження повітря за рахунок інтеркулера (радіатора типу «повітря-повітря»); вдосконалення процесу згоряння за рахунок розроблення ефективніших камер згоряння; деактивація циліндрів на режимах часткових навантажень і холостому ході; використання спеціальної моторної оливи; нові ущільнення клапанів та ін.

### Список літератури

1. *Парсаданов И. В.* Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / *И. В. Парсаданов.* – Х.: Изд. центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
2. *Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марченка та проф. А. Ф. Шеховцова.* – Х.: Прапор, 2004. – 360 с.
3. *Бешун О. А.* Сучасні та перспективні екологічні стандарти для дизелів лісо- і сільськогосподарських мобільних машин та технології, які дозволяють їх виконати // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.

*Рассмотрены основные вредные компоненты отработавших газов двигателей современных сельско- и лесохозяйственных машин, проанализированы механизмы, причины и условия их образования, а также пути минимизации вредных выбросов и дымности.*

**Экология, двигатель, дизель, токсичность, дымность, отработавшие газы, выбросы, норма, стандарт, Stage, Euro, Tier.**

*The paper is devoted to the basic harmful components of modern agricultural and forest mobile machines engine emissions, analysed mechanisms, reasons and conditions of their formation and also way of minimization of the pollutants and exhaust smoke opacity.*

**Ecology, engine, diesel, emissions toxicity, exhaust smoke opacity, pollutants, norm, standard, Stage, Euro, Tier.**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

### **ВИПУСК 226**

Серія “Техніка та енергетика АПК”

Свідоцтво про державну реєстрацію  
Серія КВ №17147 – 5917Р від 28.09.2010

Редактор І. Л. Роговський

03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15

Здано до набору 24.09.2015

Формат 60×84/16

Наклад 100 прим.

Підписано до друку 01.10.2015

Папір офсетний.

Зам. № 7760 від 23.09.2015

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України

03041, Київ, пров. Сільськогосподарський, 4.

т. 527-80-49