

НАУКОВИЙ ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ

Серія “Техніка та енергетика АПК”

212

Частина 1

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. 212, ч. 1. – 335 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 (відповідальний редактор), І.І. Ібатуллін (заступник відповідального редактора), В.О. Дубровін (заступник відповідального редактора), А.В. Витриховська (відповідальний секретар), І.Л. Роговський (заступник відповідального секретаря), Л.В. Аніскевич, А.І. Бойко, А.В. Бойко, Г.А. Голуб, Петро Євич, Зденек Пасторек, Євгеній Красовські, В.І. Кравчук, В.П. Ковбаса, В.С. Ловейкін, В.Г. Мироненко, В.М. Несвідомін, А.С. Опальчук, С.Ф. Пилипака, І.І. Ревенко, В.І. Рубльов, С.Г. Фришев, М.Г. Чаусов.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 7 від 20 лютого 2015 р.

Згідно з постановою Вищої атестаційної комісії України від 01 липня 2010 р. № 1-05/5 збірник науковий праць «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК», внесений до переліку наукових 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).

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

СИРОВИННА БАЗА ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ С.М. Кухарець, Г.А. Голуб	11
ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ В.Д. Войтюк, М.І. Денисенко, В.А. Маслюк	21
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ПОРЦІЇ ХЛІБНОЇ МАСИ В.С. Ловеїкін, А.П. Ляшко	28
АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВОФАЗНОГО СОШНИКА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА Л.В. Аніскевич	34
ОЦІНЕННЯ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ ТА ЗАХОДИ ДЛЯ ЇХ ЗНИЖЕННЯ НА МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ О.В. Войналович	45
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ, КОРМОЗБИРАЛЬНИХ ТА ПОСІВНИХ МАШИН М.І. Денисенко, А.С. Опальчук	52
ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У РОСЛИННИЦТВІ В.Г. Мироненко, О.О. Броварець	62
ГЕРМЕТИЧНІСТЬ І КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ З'ЄДНАНЬ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ ПРИ УСУНЕННІ ТРІЩИН С.С. Карабиньош	72
ЕФЕКТИВНІ СТАЛЕБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ ДЛЯ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА М.О. Давиденко	78
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТЕБЕЛ КОНОПЕЛЬ В.О. Гридякін	82
КРИТЕРІЙ МІЦНОСТІ І СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ КОМПОНЕНТАМИ НАПРУЖЕНЬ СИПУЧОГО СЕРЕДОВИЩА В.П. Ковбаса, В.П. Курка, Алі Ахмед Кадем	87
КОМПОЗИЦІЙНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КАРБІДОСТАЛЕЙ З ДОМІШКАМИ КАРБІДІВ ХРОМУ І ТИТАНУ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН В.А. Маслюк, Р.В. Яковенко, М.І. Денисенко	93

УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНОЇ УСТАНОВКИ ДОЇЛЬНИХ АГРЕГАТІВ <i>І.І. Ревенко, Ю.І. Ревенко</i>	108
ВПЛИВ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ В ЦЕМЕНТОВАНОМУ ШАРІ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ <i>О.Є. Семеновський</i>	113
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СТІЛОВИХ СИСТЕМ БАШТОВИХ КРАНІВ <i>Є.Г. Афтанділянц, В.С. Ловейкін, О.Г. Шевчук</i>	121
ПЕРСПЕКТИВИ І ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНЕРЦІЙНО- ЗРУБУЮЧОГО УДАРНОГО РІЗАННЯ ПРИ ЗБИРАННІ БІОМАСИ <i>В.П. Ковбаса, Л.М. Матюшенко</i>	130
"МОКРІ" СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ БІОДИЗЕЛЯ <i>О.В. Поліщук</i>	136
ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ І РЕЖИМІВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ <i>А.В. Новицький</i>	141
ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ВАЛЬЦЕДЕКОВОЮ ДРОБАРКОЮ <i>С.Є. Потапова</i>	148
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО РЕЖИМУ ПУСКУ КАНАТНОЇ ЛЕБІДКИ <i>Ю.Ю. Сердюченко</i>	153
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОСТУПОВОЇ ПОДАЧІ СУБСТРАТУ В БІОГАЗОВИЙ РЕАКТОР <i>В.М. Поліщук, В.О. Дубровін, М.М. Лободко, О.В. Поліщук</i>	158
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ <i>І.Л. Роговський, Л.Л. Роговський</i>	163
ЕВТЕКТИЧНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ: ОТРИМАННЯ ПРИ СВЧ НАГРІВАННІ, СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ <i>М.І. Пашечко, М.І. Денисенко</i>	173
СОБІВАРТІСТЬ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР <i>В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко</i>	179
ОПТИМІЗАЦІЯ РИВКОВОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ <i>В.С. Ловейкін, К.І. Почка</i>	186
ЗМІНА БІОПОТЕНЦІАЛУ ОГІРКІВ ПРИ ПЕРЕДПОСІВНІЙ ОБРОБЦІ НАСІННЯ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ <i>В.В. Савченко, О.Ю. Синявський</i>	198
ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ДЕФЕКТІВ НА ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ <i>С.С. Карабиньох</i>	203

РАЦІОНАЛЬНИЙ МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ В.О. Кохановський, В.В. Коробський	210
УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИХ ВИРОБІВ В ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ А.П. Мартинов, Г.О. Іванов, О.М. Бистрий	215
ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНИХ НОРМ В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ З.В. Ружи́ло, І.Л. Роговський, В.І. Мельник	223
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ ТА ЛЕЗВІЙНОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАМИ З ПСТМ НА ОСНОВІ НІТРИДУ БОРУ О.В. Сушко	229
ПАРАМЕТРИЧНІ РІВНЯННЯ ПЛОСКИХ КРИВИХ ІЗ ЗАКЛАДЕНИМ ПАРАМЕТРОМ ЗМІНИ ЇХ КРИВИНИ Т.С. Пилипака	234
РЕСУРСНО-ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ О.О. Налобі́на	242
ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ МОСТОВОГО КРАНУ В.П. Лисенко, В.С. Ловейкін, В.В. Крушельницький	246
АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАНЬ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ С.Ф. Пилипака, В.С. Ловейкін, П.В. Лимар	255
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ ПЕРЕВАЛОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ С.Г. Фри́шев, Л.О. Чорна	263
ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ЗАЛИШКІВ КОРМУ ТА ПРОДУКТІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТВАРИН В.С. Хмельовський	270
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА І ВИТРАТИ МАТЕРІАЛЬНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ Н.І. Болтянська, О.В. Болтянський	275
СУБ'ЄКТИВНІ ДИДАКТИЧНІ УМОВИ ПРОФЕСІЙНОГО САМОРОЗВИТКУ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА М.М. Бондар	283
ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ СИПКОГО СУБСТРАТУ У ПРИСТОВБУРНІ СМУГИ БАГАТОРІЧНИХ НАСАДЖЕНЬ І.В. Тимошок, В.О. Соколов, Р.В. Шатров	291

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ НА ОСНОВІ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОДИНИЦЬ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ М.Ф. Ковальов	297
АНАЛІТИЧНІСТЬ СТВОРЕННЯ ТЕОРІЇ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНЖЕНЕРНОГО МОНІТОРИНГУ В АПК В.Н. Большаков, В.В. Іщенко	301
ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL В СИСТЕМІ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ В.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров	309
МЕТОДОЛОГІЧНІСТЬ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСАХ І.Л. Rogovський	314
АНАЛІЗ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ Л.Л. Тімова, І.Л. Rogovський	322
СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНЕРЦІЇ ОРГАНІВ РОСЛИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР І.О. Чижиков	328

CONTENTS

MACHINES AND MEANS OF MECHANIZATION

SOURCE OF RAW MATERIALS AND PRODUCTION EFFICIENCY OF BIOGAZ S.M. Kukharets, G.A. Golub	11
MANUFACTURING TECHNIQUES OF DURABLE ELEMENTS FROM POWDER COMPOSITE MATERIALS FOR WORKING PARTS OF GRINDERS V.D. Voytyuk, M.I. Denisenko, V.A. Maslenok	21
DEFINITION OF LAW OF MOVEMENT OF PORTION OF GRAIN WEIGHT V.S. Loveykin, A.P. Lyashko	28
ANALYSIS OF FUNCTIONING OF TWO-PHASE COULTER FOR TECHNOLOGIES OF PRECISION AGRICULTURE L.V. Aniskevich	34
ESTIMATION OF PRODUCTION RISKS AND MEASURE FOR ITS DECREASE ON MECHANIZED PROCESSES OF HARVESTING OF SUGAR BEET O.V. Voynalovich	45
INCREASE OF DURABILITY OF WORKING PARTS OF SOIL-CULTIVATING, FODDER HARVESTING AND SOWING MACHINES M.I. Denisenko, A.S. Opalchuk	53
INTEGRATED SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN PLANT GROWING V.G. Mironenko, O.O. Brovarets	62
LEAKS AND CORROSION RESISTANCE COMPOUNDS USING IN ELIMINATING CRACKS S.S. Karabinesh	72
EFFECTIVE STEEL-CONCRETE OVERLAPPINGS FOR LARGE-PANEL CONSTRUCTION M.O. Davidenko	78
RESEARCH OF PHYSIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF STALKS OF HEMP V.O. Gridyakin	82
CRITERION OF DURABILITY AND RATIO BETWEEN COMPONENTS OF TENSION OF THE LOOSE ENVIRONMENT V.P. Kovbasa, V.P. Kurka, Ali Ahmed Kadem	87
COMPOSITE POWDER MATERIALS ON BASIS OF CARBID-STEEL WITH IMPURITY OF CARBIDES OF CHROME AND TITAN FOR WORKING PARTS OF AGRICULTURAL MASHINES V.A. Maslenok, R.V. Yakovenko, M.I. Denisenko	93

IMPROVEMENT OF VACUUM INSTALLATION OF MILKING UNITS I.I. Revenko, Yu.I. Revenko	108
INFLUENCE OF INTERNAL TENSION IN CEMENTED LAYER ON OPERATIONAL CHARACTERISTICS CONSTANT O.Ye. Semenovskiy	113
ANALYSIS OF TOWER CRANE JIB DESIGNS Ye.G. Aftandiliants, V.S. Loveykin, O.G. Shevchuk	121
PROSPECTS AND APPLICATIONS OF INERTIAL AND CHOP METHOD OF SHOCK CUTTING WHEN CLEANING BIOMASS V.P. Kovbasa, L.M. Matyushenko	130
"WET" WAYS OF CLARIFICATION OF BIODIESEL O.V. Polishchuk	136
ASSESSMENT OF RELIABILITY OF MEANS FOR PREPARATION AND DISTRIBUTION OF FORAGES DEPENDING ON CONDITIONS AND MODES OF ITS OPERATION A.V. Novitsky	141
THEORETICAL MODEL OF GRINDING PROCESS BY ROLL-AND-DECK GRAIN CRUSHER S.Ye. Potapova	148
EXPERIMENTAL RESEARCH TRANSIENT START-UP CABLE WINCH Yu.Yu. Serdyuchenko	153
RESEARCH OF PROCESS OF GRADUAL GIVING OF SUBSTRATUM IN BIOGAS REACTOR V.M. Polishchuk, V.O. Dubrovin, M.M. Lobodko, O.V. Polishchuk	158
EFFICIENCY OF RESTORATION OF DETAILS OF PLUNGER PAIRS OF FUEL PUMPS OF AGRICULTURAL MACHINERY I.L. Rogovsky, L.L. Rogovsky	163
EUTECTIC COVERINGS FOR CONSTRUCTIONAL STEEL: RECEIVING AT HEATING, STRUCTURE AND PROPERTIES M.I. Pashechko, M.I. Denisenko	173
COST OF STORAGE OF SEEDS OF OIL CULTURES V.M. Polishchuk, S.Ye. Tarasenko	179
OPTIMIZATION OF BREAKTHROUGH MODE OF REVERSAL OF ROLLER FORMING INSTALLATION V.S. Loveykin, K.I. Pochka	186
CHANGE OF BIOPOTENTIAL OF CUCUMBERS AT PRESEEDING PROCESSING OF SEEDS IN MAGNETIC FIELD V.V. Savchenko, O.Yu. Sinyavsky	198
SEQUENCE DETECTION DAMAGES AND DEFECTS ON SURFACE PARTS S.S. Karabiniosh	203

RATIONAL METHOD OF RESTORATION OF DETAILS OF PROCESSING EQUIPMENT V.O. Kokhanovsky, V.V. Korobsky	210
IMPROVEMENT OF TRAINING OF SPECIALISTS FOR PRODUCTION OF COMPETITIVE PRODUCTS IN FIELD OF MECHANICAL ENGINEERING A.P. Martynov, G.O. Ivanov, O.M. Bystryi	215
MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SYSTEMS TECHNICAL NORMS IN REPAIR PRODUCTION Z.V. Ruzhilo, I.L. Rogovsky, V.I. Melnyk	223
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROCESSES OF GRINDING AND BLADE MACHINING TOOLS WITH PSTM-BASED BORON NITRIDE O.V. Sushko	229
PARAMETRICAL EQUATIONS OF FLAT CURVES WITH PUT PARAME- TER OF CHANGE OF ITS CURVATURE T.S. Pilipaka	234
RESOURCE AND DIAGNOSTIC MODEL OF FORECASTING OF TECHNICAL CONDITION OF MASHINES FOR TIMBER WORKS O.O. Nalobina	242
DYNAMIC ANALYSIS OF MOVEMENT OF BRIDGE CRANE V.P. Lysenko, V.S. Loveykin, V.V. Krushelnitsky	246
ANALYSIS OF WAYS OF CONTROL OF LOAD-LIFTING MACHINERY S.F. Pilipaka, V.S. Loveykin, P.V. Lymar	255
JUSTIFICATION OF PARAMETERS ADVANCED TRANSSHIPMENT TECHNOLOGY FOR SUGAR BEET S.G. Frishev, L.O. Chorna	263
REVIEW OF TECHNOLOGY OF PROCESSING REMAINS FORAGE AND WASTE PRODUCTS OF ANIMALS V. S. Khmelyovsky	270
ECOLOGICAL SAFETY OF PRODUCTION AND EXPENSE OF MATERIAL AND ENERGY RESOURCES FOR RECEIVING AGRICULTURAL PRODUCTION N.I. Boltyanska, O.V. Boltyansky	275
SUBJECTIVE DIDACTIC CONDITIONS OF PROFESSIONAL SELF-DEVELOPMENT OF FUTURE SPECIALISTS IN MECHANIZATION OF AGRICULTURE M.M. Bondar	283
JUSTIFICATION OF SCHEMES MACHINERY FOR ENTERING OF LOOSE SUBSTRATUM INTO PRISTVOLNY STRIPS LONG-TERM PLANTINGS I.V. Timoshok, V.O. Sokolov, R.V. Shatrov	291

MODEL OF TASSESSMENT TECHNICAL READINESS ON BASIS OF RESIDUAL RESOURCE OF UNITS OF MACHINERY FOR TIMBER WORKS M.F. Kovalyov	297
ANALYTICITY OF CREATION THEORY OF LEGAL REGULATION OF ENGINEERING MONITORING IN AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX V.N. Bolshakov, V. V. Ishchenko	301
EFFICIENCY OF STRIP-TILL TECHNOLOGY IN SYSTEM CULTIVATION OF THE SOIL V.D. Grechkosiy, R.V. Shatrov	309
METODOLOGICAL PERFORMANCE OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF RESTORATION OF WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MASHINES AT LIMITED RESOURCES I.L. Rogovsky	314
ANALYSIS OF FREQUENCY OF SERVICING OF MACHINERY FOR TIMBER WORKS L.L. Titova, I.L. Rogovsky	322
WAY OF DETERMINATION OF PARAMETERS OF INERTIA OF PARTS OF PLANTS OF CROPS I.O. Chizhikov	328

СИРОВИННА БАЗА ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

С.М. Кухарець, кандидат технічних наук
Житомирський національний агроекологічний університет
Г.А. Голуб, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України

Встановлено основні техніко-технологічні параметри біогазового реактора і процесу виробництва біогазу. Запропоновано технологічні етапи отримання біогазу із застосуванням обертових метантенків. Визначено економічну ефективність виробництва електроенергії на основі біогазу.

Біомаса, метантенк, біогаз, перемішування, ефективність.

Постановка проблеми. Підвищення енергетичної ефективності біогазових установок є одним із головних напрямків покращення технологічного процесу виробництва біогазу, а тому обґрунтування методів визначення питомої потужності та енергетичних параметрів експлуатації біогазових установок потребує постійного удосконалення.

Експлуатація біогазових установок показала, що сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід уникати, оскільки це може призвести до погіршення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [1]. У той же час, досвід експлуатації реакторів біогазових установок показав, що практично неможливо усунути розшарування біомаси в реакторі на мінеральний осад та органічну плаваючу біомасу, що вказує на недоліки в роботі систем перемішування [2, 3].

Аналіз останніх досліджень. У результаті проведених наукових досліджень нами запатентовано ряд технічних рішень, які дозволяють у значній мірі усунути розшарування біомаси за рахунок забезпечення перемішування шарів біомаси із використанням

© С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, 2015

занурених обертових біогазових реакторів. Визначено також рівень занурення обертового метантенка в рідину, а також коефіцієнт його заповнення в залежності від геометричних параметрів та густини рідини, в яку занурений обертовий метантенк при забезпеченні його знаходження у завислому стані [4].

Потужність, що витрачається на подолання моменту опору в підшипниках залежить від рівня органічної біомаси в метантенку, його ваги, а також характеристик біогазу та біомаси [5, 6]. Потужність, що витрачається на перемішування біомаси залежить від характеристик біомаси (густини, вмісту сухої речовини, розміру частинок сухої речовини) та конструкційно-кінематичних характеристик метантенка (кутова швидкість, внутрішній радіус, довжина, геометричні розміри та розміщення лопаток, мішалок й перегородок всередині метантенка).

Мета досліджень. Встановити основні техніко-технологічні параметри обертового біогазового реактора і процесу виробництва біогазу, а також визначити економічну ефективність виробництва електроенергії на основі біогазу.

Результати досліджень. Виробництво біогазу на основі обертових метантенків пропонується виконувати за технологічними етапами, що наведені на рис. 1.

Потенціал виробництва біогазу при використанні рослинної біомаси та використанні гною та посліду можна визначати за наступною залежністю:

$$B = B_P + B_T = k_{БГР} k_{БР} \sum_{i=1}^n S_i 100 Y_i (k_{Bi} - k_{3i}) + k_{БГТ} k_{БТ} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_{Ej} + m_{Bj}) k_{Гj}, \quad (1)$$

де: B – потенціал виробництва біогазу при зброджуванні рослинної біомаси та гноївки, м^3 ; B_P – вихід біогазу при зброджуванні рослинної біомаси, м^3 ; B_T – вихід біогазу при зброджуванні гноївки, м^3 ; $k_{БГР}$, $k_{БГТ}$ – питомий вихід біогазу при анаеробному зброджуванні відповідно рослинної біомаси та гноївки, $\text{м}^3/\text{кг}$; $k_{БР}$, $k_{БТ}$ – коефіцієнт використання відповідно рослинної біомаси та гноївки в біогазових установках, відн. од.; n – кількість культур в сівозміні, які використовуються для виробництва рослинної біомаси; S_i – площа вирощування i -ї культури, га; Y_i – урожайність i -ї культури, ц/га; k_{Bi} – коефіцієнт виходу біомаси i -ї культури, відн. од.; k_{3i} – коефіцієнт втрат біомаси i -ї культури під час збирання, відн. од.; m – кількість груп тварин та птиці; N_j – поголів'я тварин та птиці j -го виду, гол.; T_j – стійловий період поголів'я тварин та птиці j -го виду, діб; m_{Ej} – маса екскрементів j -го виду тварин та птиці, кг/гол. за добу ; m_{Bj} – маса води, що надходить в екскременти j -го виду тварин та птиці, кг/гол. за добу ; $k_{Гj}$ – коефіцієнт виходу гноївки придатної для рідкофазного зброджування, відн. од.

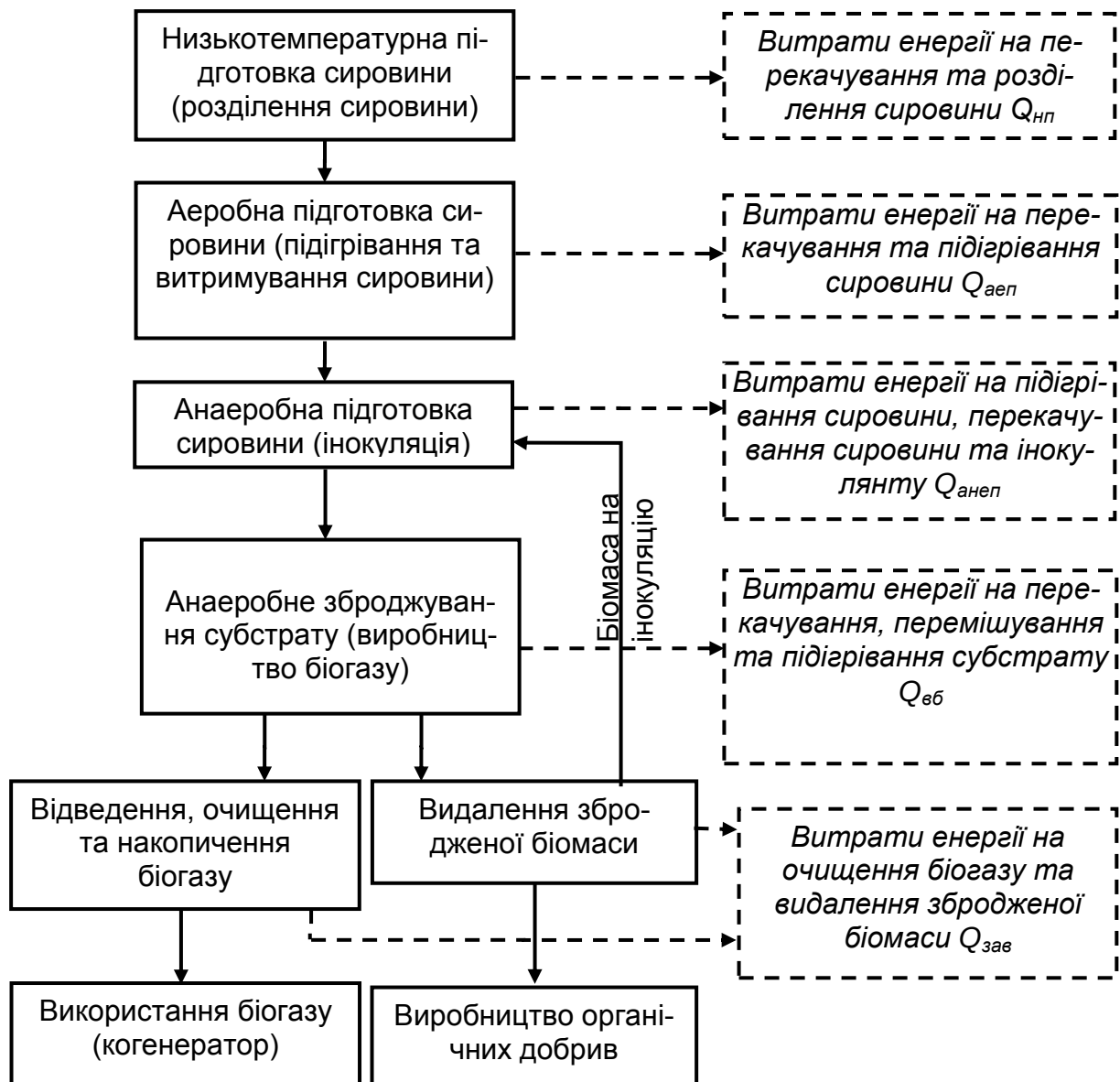


Рис. 1. Блок-схема технологічних етапів отримання біогазу.

Коефіцієнти використання рослинної біомаси та гноївки в біогазових установках, виходу біомаси i -ї культури та її втрат під час збирання, виходу гноївки придатної для рідкофазного зброджування, а також кількість культур в сівозміні, які використовуються для виробництва рослинної біомаси, площа вирощування та урожайність i -ї культури, кількість груп тварин та птиці, поголів'я та стійловий період тварин та птиці j -го виду, маса екскрементів та маса води, що надходить в екскременти j -го виду тварин та птиці встановлюється для кожного сільськогосподарського підприємства на основі конкретних моделей функціонування агроєкосистем.

Виходячи із обсягів виробництва біогазу можна встановити основні техніко-технологічні параметри як біогазового реактора, зокрема, так і всього процесу виробництва біогазу загалом.

Питомий вихід біогазу в розрахунку на один кілограм біомаси при анаеробному зброджуванні можна встановити на основі досліджень [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] та знаючи основні параметри субстратів (табл. 1).

1. Основні параметри субстрату (середні значення) та межі значень питомого виходу біогазу.

Основа суб- страту	Щільність		Вміст сухої маси, k_{cm}	Розмір частинок твердої фракції r_{cp} , м	Динамічна в'язкість η_B , Па с	Питомий вихід біогазу, м ³ /кг	
	біомаси ρ_B , кг/м ³	сухої бі- омаси $\rho_{срБ}$, кг/м ³				мін	макс
Гній ВРХ	1028	1140	0,20	0,01	0,03	0,0314	0,0570
Гній свиня- чий	1046	1200	0,23	0,01	0,05	0,0405	0,0900
Пташиний послід	1006	1020	0,32	0,01	0,02	0,0473	0,1152
Кукурудзяні залишки (силос)	1027	1100	0,27	0,03	0,03	0,0765	0,2328
Цукровий буряк	1069	1300	0,23	0,05	0,06	0,1656	0,1879
Кормовий буряк	1036	1300	0,12	0,05	0,04	0,0465	0,0867
Бурякова гичка	1024	1150	0,16	0,03	0,03	0,0578	0,0768
Зелені трави (силос)	1038	1100	0,38	0,02	0,04	0,0963	0,2356
Зернова ба- рда	1004	1050	0,07	0,01	0,01	0,0214	0,0493
Картопляна барда	1004	1050	0,07	0,01	0,01	0,0204	0,0466
Плодова барда	1001	1030	0,03	0,01	0,01	0,0054	0,0185
Пресований жом	1048	1200	0,24	0,02	0,05	0,0495	0,0865
Меляса	1043	1050	0,85	0,01	0,05	0,2448	0,3969

На основі значень питомого виходу біогазу та біометану можна визначити щільність отриманого біогазу для широкого спектру біосировини (табл. 2).

Виходячи із основних параметрів субстрату та біогазу приведених в табл. 1 і табл. 2 [11] та відповідних розрахунків [4, 6] можна встановити параметри обортового метантенка, що забезпечують мінімізацію енерговитрат на перемішування біомаси та необхідну продуктивність за біогазом.

2. Розрахункові значення щільності біогазу.

Основа субстрату	Питомий вихід біометану (CH_4), м ³ /кг		Вміст CO_2 , м ³ /кг		Щільність біогазу			
					у біореакторі, кг/м ³		за нормальних умов, кг/м ³	
	мін	макс	мін	макс	макс	мін	макс	мін
Гній ВРХ	0,0182	0,0342	0,0132	0,0228	1,251	1,226	1,236	1,211
Гній свинячий	0,0235	0,0540	0,0170	0,0360	1,251	1,226	1,236	1,211
Пташиний послід	0,0269	0,0691	0,0203	0,0461	1,263	1,226	1,248	1,211
Кукурудзяні залишки (силос)	0,0383	0,1280	0,0383	0,1047	1,352	1,289	1,335	1,273
Цукровий буряк	0,0878	0,1015	0,0778	0,0864	1,314	1,301	1,298	1,286
Кормовий буряк	0,0246	0,0468	0,0219	0,0399	1,314	1,301	1,298	1,286
Бурякова гичка	0,0306	0,0415	0,0271	0,0353	1,314	1,301	1,298	1,286
Зелені трави (силос)	0,0510	0,1272	0,0452	0,1084	1,314	1,301	1,298	1,286
Зернова барда	0,0124	0,0320	0,0090	0,0172	1,251	1,163	1,236	1,149
Картопляна барда	0,0118	0,0303	0,0086	0,0163	1,251	1,163	1,236	1,149
Плодова барда	0,0031	0,0120	0,0023	0,0065	1,251	1,163	1,236	1,149
Пресований жом	0,0347	0,0648	0,0149	0,0216	1,100	1,037	1,087	1,024
Меляса	0,1714	0,2977	0,0734	0,0992	1,100	1,037	1,087	1,024

При рекомендованих параметрах біомаси, біогазу та обраних конструкційних параметрах біогазового обортового реактора [11], можна оцінити вплив коефіцієнта заповнення на витрати енергії та визначити його оптимальне значення.

Встановлено параметри біогазового обортового реактора (табл. 3) при оптимальному коефіцієнті заповнення, що забезпечують його плавання [5, 6].

Використання параметрів наведених в табл. 3. дозволяє проектувати обортові біогазові обортові реактори із мінімальними питомими енерговитратами на перемішування біомаси.

У результаті проведеного аналізу можна стверджувати, що заповнений на величину від 94 до 95 % обортовий реактор з об'ємом завантаження біомаси V_B від 3 до 103 м³ (робочий діаметр D лежить в діапазоні від 1 до 4,3 м) потребує мінімальної потужності для приводу N_{KP} від 299 Вт до 10,4 кВт при його зануренні у рідину на вели-

чину від 95 до 97 %. При цьому питома потужність приводного механізму в розрахунку на об'єм біомаси в реакторі лежатиме в межах від 99,85 до 101,23 Вт/м³.

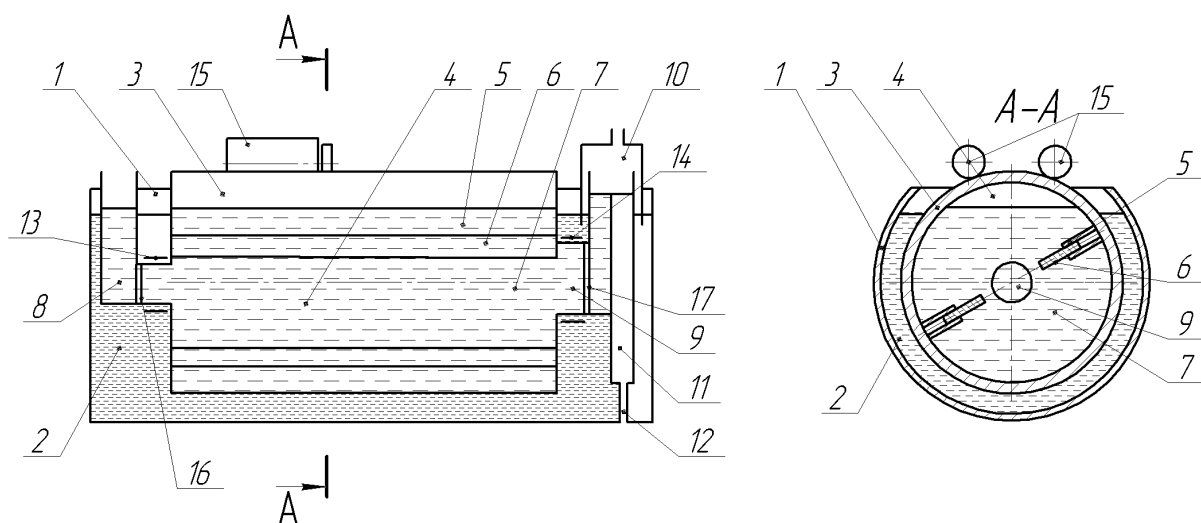


Рис. 2. Схема біогазового обертового реактора, модульного типу: 1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера зброджування; 5 – перегородка; 6 – рухомі пластини; 7 – органічна маса; 8, 9, 12 – патрубки; 11 – вивантажувальна камера; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привод; 16, 17 – блок-ущільнення.

3. Раціональні конструкційні параметри біогазових обертових реакторів.

Робочий діаметр реактора, D , м	Товщина стінок реактора s , м	Діаметр зовнішнього корпусу D_3 , м	Робоча довжина L , м	Вага реактора m_p , кг	Коефіцієнт заповнення біомасою k_3	Об'єм завантаженої біомаси (максимальний) V_b , м ³	Потужність на обертання $N_{кр}$, Вт
1	0,003	1,2	4	200	0,94	3,0	299
2	0,005	2,4	4	424	0,94	11,8	1197
3	0,005	3,6	4	895	0,94	26,6	2661
4	0,005	4,8	6	1979	0,95	71,3	7114
4,3	0,005	5,2	7,5	2797	0,95	103,0	10408

Враховуючи, що на підігрівання субстрату можна отримати енергію прямого спалювання біомаси рослинництва, а для перемішування та перекачування субстрату використати частку електрое-

нергії виробленої в результаті використання біогазу, виробнича собівартість біометану становитиме:

$$C_{БМ} = \frac{\rho_{ПБ}}{k_{БМ} \tau_{ЗБ}} \Pi_{БМ} (1 - k_{Д}) + (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ}) (ТОР_{БМ} + ЕЛ_{БМ} + ЗП_{БМ}), \quad (2)$$

де: $C_{БМ}$ – виробнича собівартість біометану, грн/м³; $\rho_{ПБ}$ – густина переробленої у біогазовому реакторі біомаси, т/м³; $k_{БМ}$ – вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м³/м³ добу; $\tau_{ЗБ}$ – час утримання біомаси в реакторі під час збродження, діб; $\Pi_{БМ}$ – вартість біомаси, яка надходить на переробку в біогазову установку, грн/т; $k_{Д}$ – коефіцієнт збільшення вартості органічних добрив після анаеробного збродження біомаси, відн. од.; $k_{ЗВ}$ – коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати, відн. од.; $k_{ЗГ}$ – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.; $ТОР_{БМ}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництвом біометану, грн/м³; $ЕЛ_{БМ}$ – вартість витраченої електричної енергії при виробництві біометану, грн/м³; $ЗП_{БМ}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві біометану, грн/м³.

Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану можна визначити на основі виразу:

$$C_{ЕЛ} = \frac{3,6 \rho_{ПБ}}{k_{БМ} q_{БМ} \eta_{Г} \tau_{ЗБ}} \Pi_{БМ} (1 - k_{Д}) + (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ}) (ТОР_{ЕЛ} + ЕЛ_{ЕЛ} + ЗП_{ЕЛ}), \quad (3)$$

де: $C_{ЕЛ}$ – виробнича собівартість електроенергії, грн/кВт год.; $q_{БМ}$ – теплотворна здатність біометану, МДж/м³; $\eta_{Г}$ – коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, відн. од.; 3,6 – коефіцієнт перерахунку, МДж/кВт год; $ТОР_{ЕЛ}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництвом електроенергії, грн/кВт год.; $ЕЛ_{ЕЛ}$ – вартість витраченої електричної енергії при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год; $ЗП_{ЕЛ}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год.

Як видно із приведених виразів, вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора (рис. 3) є величиною, яка визначає техніко-економічні показники біогазових установок. Розрахунки показали, що із збільшенням площі ріплі питомий вихід біогазу дещо зростає, що пояснюється збільшенням ефективності використання біогазових установок із збільшенням об'єму метантенків.

Собівартість виробництва електроенергії із біометану з прив'язкою до площі із шестипільною сівозміною приведена на рис. 4.

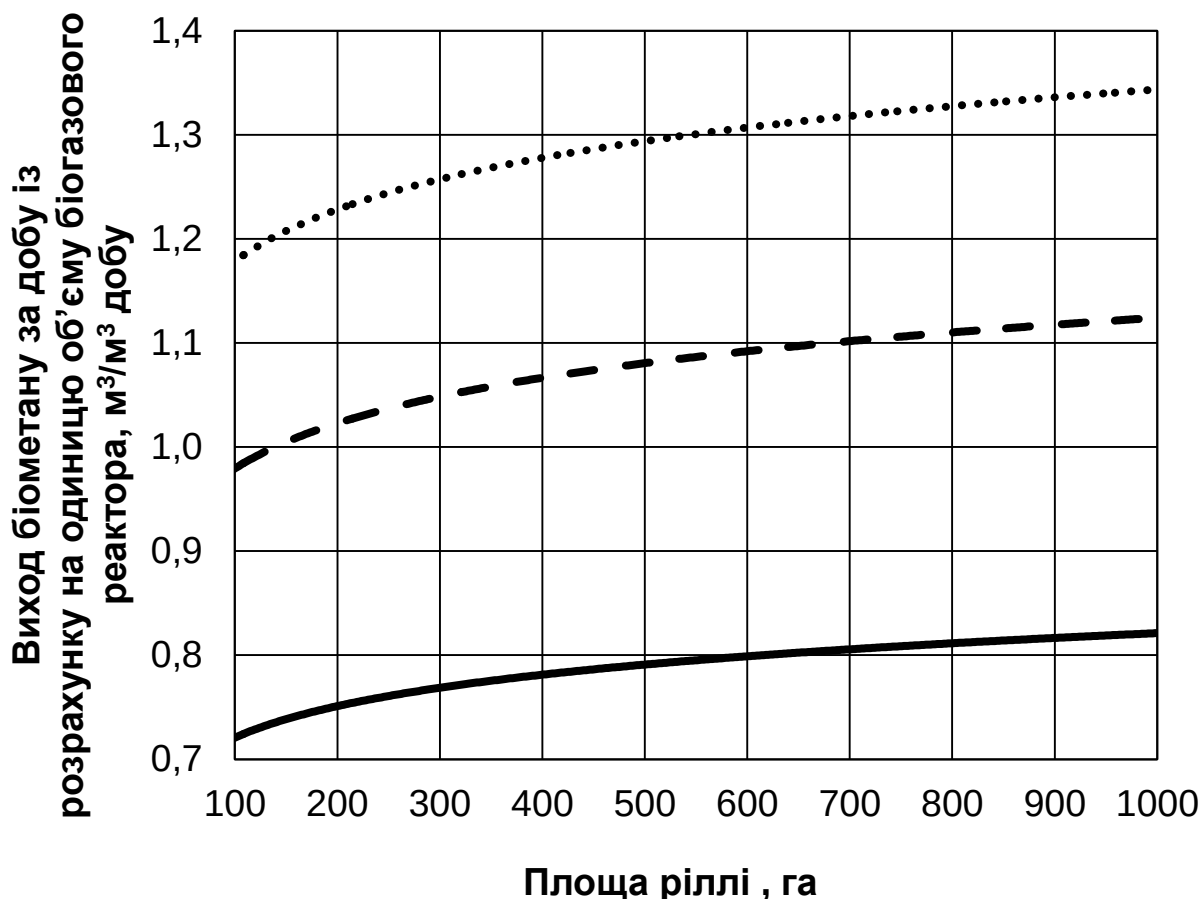


Рис. 3. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора в залежності від площі ріллі модельних господарств.

Таким чином, із збільшення площі ріллі понад 1000 га собівартість виробництва електроенергії на основі біогазу стабілізується на рівні від 0,30 до 0,44 грн/кВт год.

Висновок. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора для підприємств із зерно-молочною спеціалізацією становить від $0,72 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу до $0,81 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу, а собівартість виробленої на його основі електроенергії із використанням біогазових реакторів обертового типу становить від 0,44 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год., для підприємств із зерно-свинарською спеціалізацією відповідно від $0,98 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу до $1,12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу та від 0,38 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год. та для підприємств із зерно-птахівничою спеціалізацією – від $1,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу до $1,34 \text{ м}^3/\text{м}^3$ добу та від 0,30 грн/кВт год. до 0,72 грн/кВт год. Причому менші значення виходу біометану та вищі значення собівартос-

ті електроенергії будуть мати місце при площі ріллі 100 га, а відносно більші значення виходу біометану та менші значення собівартості електроенергії – при площі ріллі 1000 га.

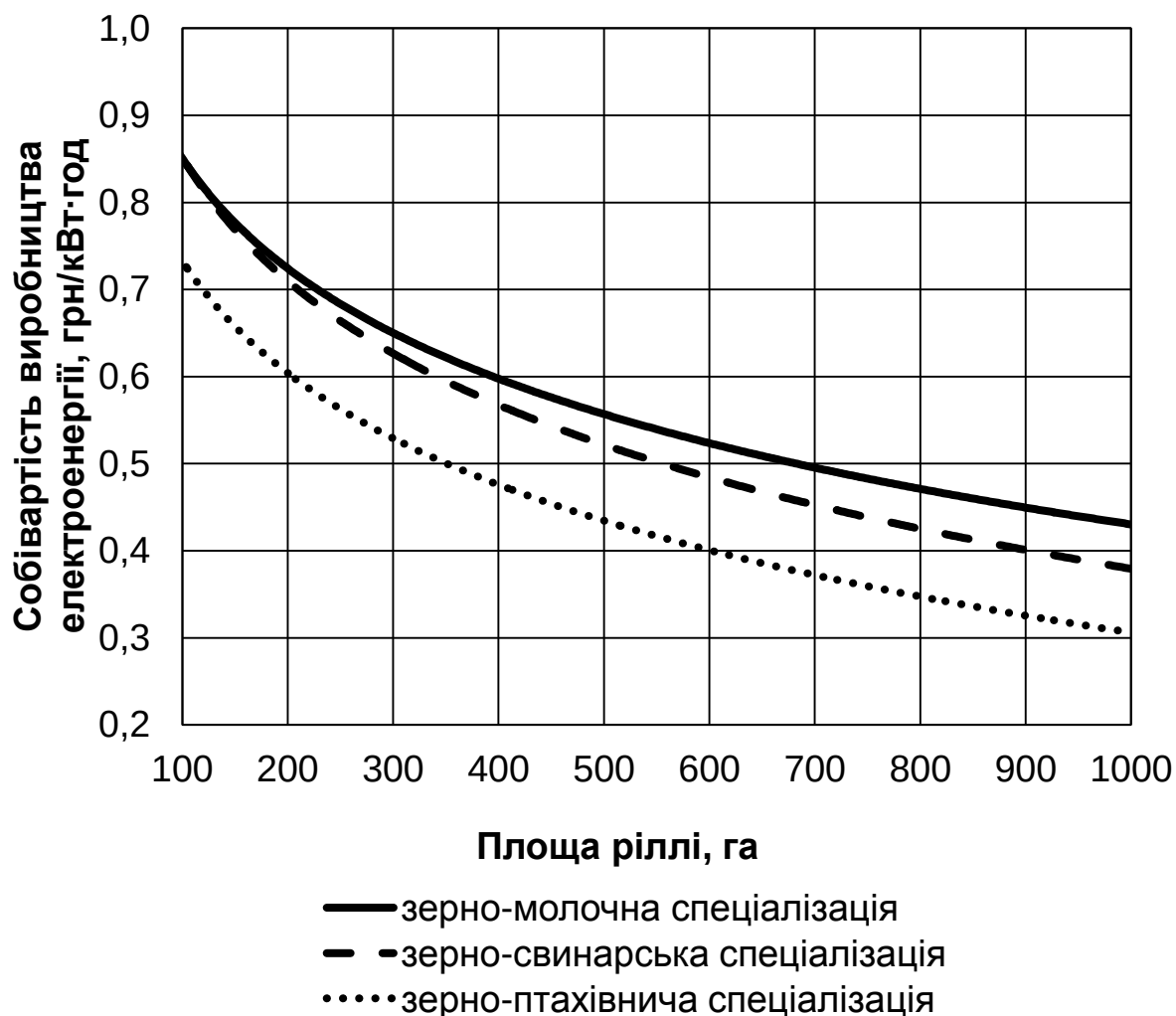


Рис. 4. Зміна собівартості електроенергії виробленої із біометану в залежності від площі ріллі модельних господарств.

Список літератури

1. *Руководство по биогазу. От получения до использования* / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. – Гюльцов: Германия, 2012. – 213 с.
2. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, Б.О. Рубан, В.О. Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – С. 17–19.
3. Голуб Г. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Г. Голуб, В. Войтенко, Б. Рубан, В. Єрмоленко // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2 (29). – С. 18–21.
4. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою оборотного метантенка / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Наці-

онального університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 55–61.

5. Кухарець С.М. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України / ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого». – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 356–365.

6. Голуб Г. Особливості конструкції модульної біогазової установки з обертовим реактором / Г. Голуб, С. Кухарець, Б. Рубан // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 9 (60). – С. 10–14.

7. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г.А. Голуб, О.В. Сидорчук, С.М. Кухарець та ін. ; за ред. Г.А. Голуба]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с.

8. Мовсесов Г.Є. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів / Г.Є. Мовсесов, О.О. Ляшенко // Рекомендації Інститут механізації тваринництва НААН України. – Запоріжжя: ІМТ НААН України, 2010. – 29 с.

9. О. Hacke. Biogas von A bis Z. / О. Hacke, M. Helm // Borsig Energy GmbH, 2001. – 47 p.

10. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шести-десяти одной установки по производству биогаза в Германии / [Геммеке Бурга, Крисста Ригер, Войланд Петер и др.]. – Гюльцов: FNR, 2010. – 118 с.

11. Handreichung. Biogasgewinnung und – nutzung. / [Amon Tomas, fon Bredov Hartvig, Doeler Helmut ets.]. – Gulzow: FNR, 2010. – 234 p.

12. Tasneem Abbasi. Biogas Energy / T Abbasi, S. Tauseet, S. Abbasi. - New York: Springer, 2012. – 169 p.

13. Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, С. Бренндерфер ; пер. с нем. и предисловие М.И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. – 148 с.

Установлены основные технико-технологические параметры биогазового реактора и процесса производства биогаза. Предложены технологические этапы получения биогаза с применением вращающихся метантенков. Определена экономическая эффективность производства электроэнергии на основе биогаза.

Биомасса, метантенк, биогаз, перемешивание, эффективность.

Was established the basic technical and technological parameters of biogas reactor and process of biogas production and proposed technological stages of biogas digesters using rotating methane tanks and determined the economic efficiency of electricity generation with biogas.

Biomass, methane tanks, biogas, mixing, efficiency.

ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ

***В.Д. Войтюк, доктор технічних наук
М.І. Денисенко, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
В.А. Маслюк, доктор технічних наук
Інститут проблем матеріалознавства
імені І.М. Францевича НАН України***

В статті розглянуто результати лабораторних та виробничих випробувань зносостійкості молотків кормодробарок, виготовлених із порошкових композиційних матеріалів.

Технологія, виготовлення, знос, композиційний матеріал, подрібнювач.

Постановка проблеми. У процесі експлуатації кормоподрібнювачів відбувається зміна кількісних та якісних показників їх роботи, що пов'язане з інтенсивним зносом їх основних робочих органів (молотків). Актуальність проблеми стверджується і тим, що в Україні щорічно підлягають подрібненню сотні тисяч тонн руди, цементу, цукру, зерна, солі, кісток та ін.). Вібрація, маятникові коливання робочих органів чинять ударний вплив на вузли підвіски та опори агрегатів.

Проблема підвищення терміну служби молотків кормоподрібнювачів залишається актуальною їх зносостійкість є обмеженою, а витрати на технічне обслуговування і запасні частини є дуже високі.

Аналіз останніх досліджень. За твердженнями вітчизняних вчених [1] молотки кормоподрібнювачів схильні до втомного руйнування. На поверхнях тертя деталей спостерігаємо втомні виразки, що виникають внаслідок дії циклічних навантажень (рис. 1).

Мета досліджень. Мета даної роботи є підвищення зносостійкості молотків та забезпечення більш тривалого терміну служби шляхом виготовлення їх із композиційних порошкових матеріалів.

Результати досліджень. Молотки кормоподрібнювачів при обтіканні їх повітряна – зерновим потоком є найбільш навантажені деталі, на них діють сили згину і крутіння.



Рис. 1. Характерні типи експлуатаційних пошкоджень молотка кормодробарки ДБ-5 після подрібнення 50–60 тонн зерна (матеріал молотка – сталь 65Г).

Для цього було використано наступні матеріали та методи зміцнення: точкове зміцнення порошковим дротом ПП-АН 170, мікроплазмова обробка порошковим дротом ПП-АН 148, лазерна обробка, індукційне наплавлення сплавом ПГ-С 27, використання евтектичних покриттів №1, гаряче штампування поруватих заготовок, а також дослідження та розробка порошкових композиційних матеріалів КХЖ-70, КХНФ-15, КХТНФ-25. Дослідження зміцнених молотків проводилися в виробничих умовах експлуатації, на подрібненні зерноsumішей в господарствах Київської, Житомирської областей та в Республіці Білорусь.

Структура та хімічний склад поверхонь тертя вивчали за допомогою скануючого електронного мікроскопа-мікроаналізатора «Cam Scan – 4DV», з системною дисперсного енергетичного аналізу «Link-860».

При вивченні елементного складу поверхневих шарів по глибині від поверхні тертя був використаний Оже-растровий електронний мікроскоп Gamp – 10 S».

За результатами виробничих випробувань побудовано криві спрацювання молотків в залежності від їх наробітку (рис. 2).

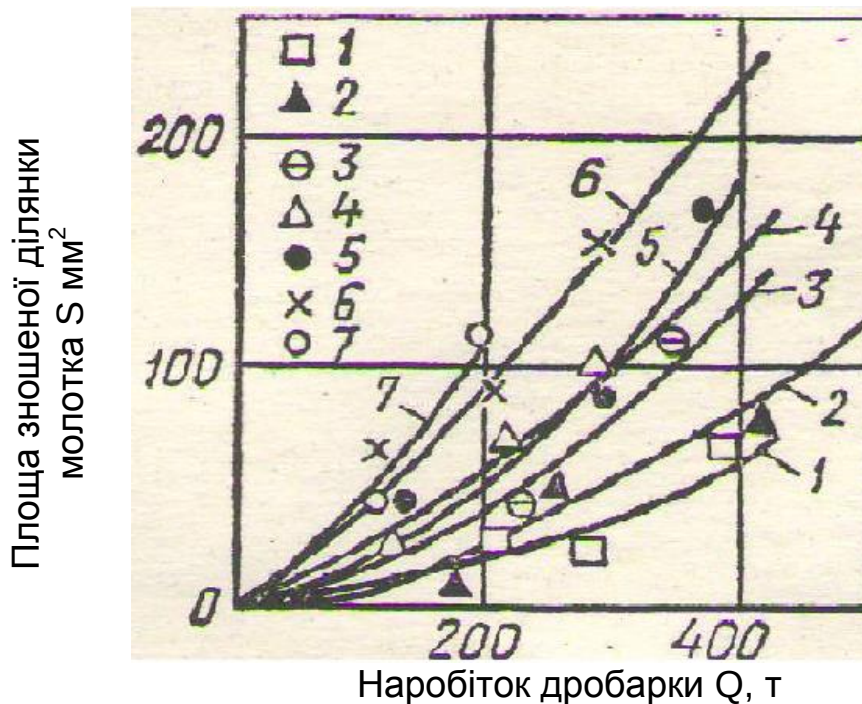


Рис. 2. Залежність зносу зміцнених молотків від напрацювання машин: 1 – Сталь 65 (мікроплазмове зміцнення ПП-АН148); 2 – Сталь Ст3 (модульні пластини КХЖ-70); 3 – Сталь 65Г (точкове зміцнення ПП-АН170); 4 – Сталь 65Г (евтектичні покриття №1); 5 – Сталь 65Г (лазерне зміцнення); 6 – Сталь Ст3 (точкове зміцнення); 7 – Сталь 65Г (серійний).

Так відповідно, одержаним даним, найбільшу зносостійкість мають молотки із сталі 45, зміцненні мікроплазмовою обробкою порошковим дротом ПП-АН148 (рис. 2, крива 1), та молотки, армовані модульними пластинами із композиційних порошкових матеріалів КХНФ-15 і КХЖ-70 (рис. 2, крива 2).

Виробничі випробування показали, що зносостійкість молотків дробарок КДУ-2,0, ДКМ-5,0, ДБ-5 у порівнянні з серійними із сталі 65Г вище у 1,96 рази при точковому зміцненні порошковим дротом ПП-АН170, при зміцненні евтектичними покриттями №1 в 2,5 рази, а при використанні композиційних матеріалів типу КЖХ-70, КХНФ-15, КЖХ-65 в 3–5 разів.

Внаслідок проведених комплексних досліджень розроблені наукові основи створення ударних робочих органів з композиційних матеріалів. Автори вперше в Україні обґрунтували та створили нові матеріали для сільськогосподарських машин методами гарячого штампування поруватих заготовок. Цей метод дозволяє підвищити коефіцієнт використання матеріалів з 50...55 до 95...98%. Відмінною

особливістю порошкових конструкційних матеріалів є їх поруватість, регулюванням якої можливо в широких межах керувати фізико-механічними властивостями виготовлених деталей.

Температурний інтервал гарячого штампування заготовок на основі заліза 900...1300°C. основна технологічна оснастка за гарячого штампування – це штампи. Молотки виготовляються в вигляді пластини, несуча основа якого із матеріалу на основі заліза, що містить карбід хрому, графіт і скло. Армуючі шари виготовлені із безвольфрамового твердого сплаву на основі карбіду хрому, що містить графіт і лігатуру мідно фосфорного або нікель фосфорного сплавів евтектичного складу.

Сплави на основі карбіду хрому з нікелевою (КХН) і нікель фосфорною (КХНФ-15) зв'язками відрізняються комплексом важливих властивостей.

Рентгеноструктурний аналіз показує, що в вихідному порошку переважає вищий карбід хрому (Cr_3C_2) [2]. В якості вихідних матеріалів використовували порошки заліза (0,8% C) і карбіду хрому Cr_3C_2 ($\text{Cr} - 86,9 \text{ C}_{\text{св}} - 0,08, \text{C}_{\text{зв'яз.}} - 13\%$) [2].

Структура сплаву, що містить 70% заліза, двофазна (рис. 3, рис. 4). Вона складається із складного залізо хромового карбіду та включень металевої фази. За даними кількісного аналізу, металева фаза представляє собою вуглецевий ферохром та має наступний атомарний склад, %: 77,9 Fe, 10,9 Cr, 11,2 C. Карбідна фаза містить 36,5 Cr, 25,5 Fe і 38,3% C, що приблизно відповідає формулі $(\text{CrFe})_3\text{C}_2$ з деяким надлишком атомів металу [3].

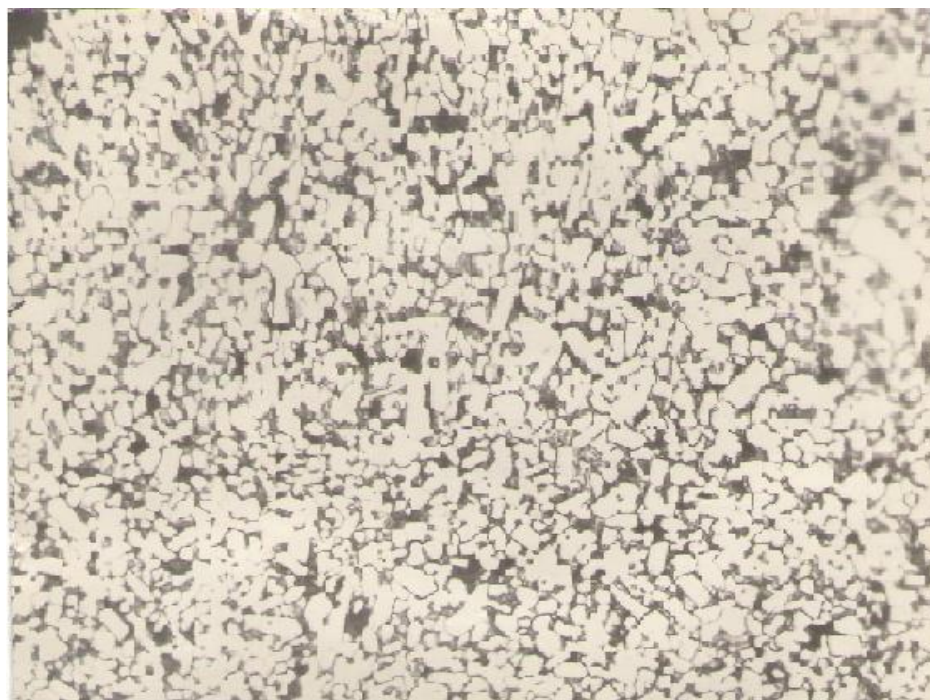


Рис. 3. Мікроструктура сплаву КХНФ-15, х400.



Рис. 4. Мікроструктура сплаву КХЖ-70, х400.

Результати випробувань механічних властивостей сплавів КХНФ-15 і КХЖ-70 наведені в табл. 1.

1. Основні фізико-механічні властивості сплавів КХНФ-15 і КХЖ-70.

Властивості	КХНФ-15	КХЖ-70
Густина, кг/м ³	6950	7580
Твердість, HRA	84,5	80
Ударна в'язкість, 10 ⁻⁵ Дж/м ²	0,12	0,27
Межа міцності при згинанні, МПа	1200	1270

З табл. 1 бачимо, що сплав КХЖ-70 поступається сплаву КХНФ-15 по твердості, за рахунок меншої кількості карбідів в вихідних матеріалах, але переважає в міцності і особливо в ударній в'язкості (більше, ніж в два рази).

Для забезпечення сумісного штампування несучої основи та армуючих шарів в склад вихідної суміші армуючого шару додається в вигляді лігатури один із евтектичних сплавів міді та фосфору, або нікелю або фосфору, що мають температуру плавлення відповідно 715 і 875°C, та відіграючи функцію рідкого мастила, а в склад несучої основи – скло, що має температуру плавлення 650–750 °С.

Введення в склад вихідних сумішей лігатур і особливо скла дозволяє одержати щільний виріб, армуючи шари якого з'єднуються з несучою основою молотка двосторонньою дифузійною зоною, яка сприяє релаксації ударного впливу на молоток у всьому об'єму пластини (рис. 5). Технологічний процес виготовлення молотка включає приготування вихідних сумішей порошків для несучої основи та армуючих шарів, засипання шарів в формуючу площину матриці, що ви-

конується в такий послідовності: армуючий шар, несуча основа, формування та гаряче штампування.



Рис. 5. Глибина проникнення хрому (дифузійна зона) в основу молотка, $\times 1000$.

Також експериментальні молотки були армовані зносостійкими елементами із порошкового композиційного матеріалу на основі карбідів хрому і титану зі зв'язкою нікелевого сплаву КХТН-25, це нові мікрокомпозиційні матеріали з великим опором та регульованими фізико-механічними властивостями. Оскільки (TiC) має інший тип та параметри решітки ніж карбід хрому, треба очікувати, що його утворення супроводжується зміною розмірів зразка. При використанні в суміші з титаном частинок карбіду хрому, що володіють невеликим вуглецевим потенціалом (частинки менше 20 мкм), у цьому інтервалі температур відбувається дисоціація карбіду хрому та утворення карбіду титану в місцях концентрації вуглецю [4]. Досліджено також спосіб виготовлення модульних елементів із композиційних матеріалів. Модульні пластини із твердого сплаву монтується на сталюну основу (сталь Ст3) молотка декілька способами: пайкою, механічне кріплення за допомогою гвинтів, заклеюванням, заклепками, а також зварюванням. Коефіцієнт термічного (теплового розширення) твердих сплавів КХНФ-15, КХЖ-70, КХЖ-30 практично дорівнює коефіцієнту теплового розширення вуглецевих сталей, тобто тверді сплави добре зварюються з вуглецевими сталями. Також використання електрозварювання для кріплення модульних пластин на сталюну основу молотка (ножа) можливо в польових умовах.

Проведені приймальні випробування комбікормової установки УМК-Ф-2, оснащених молотками з твердими сплавами одержали підвищення зносостійкості молотків в порівнянні з серійними в 20 разів

(по заключенню ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого») та в 100 разів по результатах лабораторних досліджень. Попередні випробування показали, що виготовлення молотків з шаровою робочою частиною забезпечує ефект самозаточування за рахунок регульованої різниці в зносостійкості робочих граней та серцевини.

Створена експериментальна дільниця по виготовленню молотків дробарок із композиційних матеріалів на Новоград-Волинському заводі сільгоспмашин, та на Броварському заводі порошкової металургії [5].

Висновки

Розроблена технологія виготовлення зносостійких елементів із порошкових композиційних матеріалів для робочих органів подрібнювачів. Одержано матеріал із без вольфрамового твердого сплаву для роботи в умовах ударно-абразивного спрацювання. Обґрунтовано високу ефективність використання технології виробництва робочих органів методами порошкової металургії, яка базується на використанні порошків, одержаних із вітчизняної сировини і не містить таких дорогих та дефіцитних компонентів, як вольфрам, кобальт, нікель.

Отримані результати складають науково-методичну основу для розв'язання питань подрібнення кормів робочими органами із композиційних матеріалів.

Список літератури

1. *Бойко А.И.* Графоаналитический метод износа молотковых рабочих органов / *А.И. Бойко, Н.И. Денисенко* // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. – К.: ВНИИживмаш, 1987. – Вып. 12. – С. 124–132.
2. *Денисенко Н.И.* Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / *Н.И. Денисенко* // Порошковая металлургия. – 1986. – №1. – С. 39–44.
3. *Денисенко Н.И.* Структура и свойства электрофоретических карбидохромовых покрытий со связкой никель-бор эвтектического состава / *Н.И. Денисенко* // Порошковая металлургия. – 1983. – №11. – С. 83–87.
4. *Денисенко Н.И.* О структурообразовании при спекании композиции Тi-карбид хрома / *Н.И. Денисенко* // Порошковая металлургия. – 1977. – №11. – С. 22–25.
5. *Бойко А.И.* Исследования долговечности упрочненных молотков кормодробилок / *А.И. Бойко, Н.И. Денисенко* // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. – К.: ВНИИживмаш, 1987. – Вып. 12. – С. 71–75.

В статье рассмотрены результаты лабораторных и производственных испытаний износостойкости молотков кормодробилок, изготовленных из порошковых композиционных материалов.

Технология, изготовление, износ, композиционный материал, измельчитель.

The paper discusses the results of laboratory and production tests of wear resistance of corn crusher hammers manufacture of powder composite materials.

Technology, manufacture, wear, composite material, fodder shredder.

УДК 631.361.022

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ПОРЦІЇ ХЛІБНОЇ МАСИ

В.С. Ловейкін, доктор технічних наук

А.П. Ляшко, аспірант*

Представлені дослідження руху порції хлібної маси в зазорі молотильний барабан-підбарабання. Було встановлено рівняння руху порції хлібної маси, а також побудовано графік залежності зміни кутової швидкості порції хлібної маси від кута повороту молотильного барабана зернозбирального комбайна.

Молотильний барабан, підбарабання, порція хлібної маси, рівняння руху.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день ефективність всіх робіт, пов'язаних зі збиранням зернових культур залежить від зернозбирального комбайна – основної збиральної машини. Головною частиною кожного зернозбирального комбайна є молотильно-сепаруючий пристрій, від дієздатності якого залежить ефективність роботи машини. Під час руху хлібної маси в зазорі молотильно-сепаруючого пристрою, на неї діють різні сили від яких залежить якість обмолоту.

Тому в даній роботі в основу теоретичних досліджень покладено вирішення задач пов'язаних зі знаходженням рівняння руху порції хлібної маси в зазорі молотильний барабан-підбарабання.

Аналіз останніх досліджень. Рух хлібної маси між молотильним барабаном та підбарабанням було досліджено багатьма авторами [1–5]. Авторами було встановлено, що хлібна маса піддається дії: нормальної сили стискування, сили тертя, що виникає у зоні

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, А.П. Ляшко, 2015

контакту між бичем та порцією хлібної маси і спрямованої по дотичній до барабана у бік його обертання; сили тертя, яка виникає у зоні контакту між порцією хлібної маси та планкою деки, спрямованої у бік, протилежний руху хлібної маси.

У роботі [3] вказано, що вимолот зерна в молотильному апараті відбувається вперш за все внаслідок ударів бичами по колосках і частково протягуванням їх між елементами барабана та деки. А також автори припускають, що хлібна маса рухається в молотильному зазорі з постійною середньою швидкістю і відповідною товщиною. Таким чином, сили які визначальні для проходження процесу обмолоту та сепарації у часі залишаються постійними.

Метою досліджень є визначення рівняння руху порції хлібної маси та залежності зміни кутової швидкості хлібної маси від кута повороту молотильного барабана.

Результати досліджень. Розглянемо рух порції хлібної маси, що припадає на одне било в підбарабанні (рис. 1). Для визначення закону руху порції хлібної маси використаємо такі припущення:

1. Розглядається порція хлібної маси, яка припадає на один бич, що знаходиться над підбарабанням.

2. Оскільки зазор δ між барабаном та підбарабанням є незначним, в порівнянні з радіусом барабана R , то в динамічних розрахунках ним знехтуємо і будемо вважати, що всі сили, які прикладені до хлібної маси, прикладені по колу виступу бичів.

На i -ту ($i=0, \dots, n$) порцію хлібної маси в молотильному проміжку діють сили: нормальна сила стиску N_ϕ била зі сторони молотильного барабана; рушійна сила (сила тертя між билем барабана і порцією хлібної маси), яка направлена по дотичній до кола виступів бичів в бік обертання барабана $f_\phi \cdot N_\phi$; нормальна сила стиску зі сторони підбарабання $\bar{N}_n$, яка направлена протилежно силі N_ϕ ; сила тертя між порцією хлібної маси і планкою деки в підбарабанні, яка спрямована по дотичній до криволінійної форми деки в бік, протилежний руху хлібної маси $f_n \cdot N_n$; сила тяжіння порції хлібної маси mg ; відцентрова сила, що діє на порцію хлібної маси в процесі її обертання.

Кінетична енергія порції хлібної маси, що припадає на одне било в під барабанні:

$$T = \frac{1}{2} \cdot m(\varphi) \cdot V_c^2 = \frac{1}{2} \cdot m(\varphi) \cdot R^2 \cdot \omega^2, \quad (1)$$

де: $m(\varphi)$ – маса порції хлібної маси, що припадає на одне било в під барабанні, яка є змінною величиною, що залежить від координати повороту центра мас хлібної маси φ ; V_c – лінійна швидкість руху центра мас порції хлібної маси, що припадає на одне било; R – радіус молотильного барабана по колу виступів бил; ω – кутова швидкість пово-

роту центра мас порції хлібної маси, що припадає на одне було відносно осі обертання O .

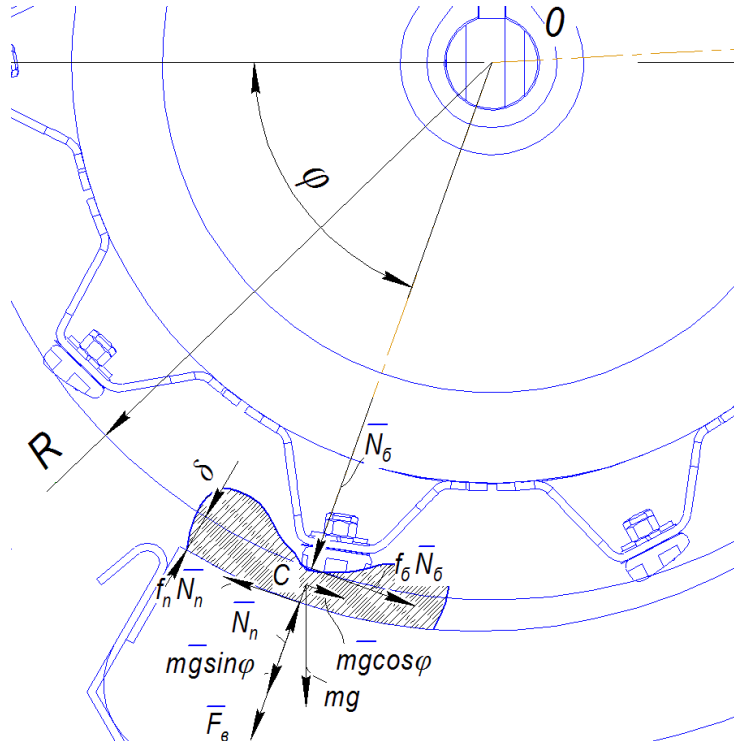


Рис. 1. Схема сил, що діють на порцію хлібної маси.

Рівняння руху порції хлібної маси:

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \sum_{i=1}^n M_{oi}, \quad (2)$$

де M_{oi} – момент i -ої ($i=1,2,\dots,n$) сили відносно осі обертання, що діє на порцію хлібної маси; n – кількість сил.

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m(\varphi) \cdot R^2 \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(\varphi)}{d\varphi} \cdot R^2 \cdot \omega^2; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n M_{oi} = f_6 \cdot N_6 \cdot R - f_n \cdot N_n \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot R \cdot \cos(\varphi). \quad (4)$$

Після підстановки залежностей (3) і (4) в рівняння (2) отримаємо:

$$m(\varphi) \cdot R^2 \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(\varphi)}{d\varphi} \cdot R^2 \cdot \omega^2 = f_6 \cdot N_6 \cdot R - f_n \cdot N_n \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot R \cdot \cos(\varphi). \quad (5)$$

Для визначення реакції підбарабання на хлібну масу N_n спроекуємо усі сили, що діють на хлібну масу на нормаль, що з'єднує центр обертання O з центром мас порції хлібної маси C . в результаті чого будемо мати:

$$F_6 + m(\varphi) \cdot g \cdot \sin(\varphi) + N_6 - N_n = 0. \quad (6)$$

Відцентрова сила, що діє на порцію хлібної маси визначається залежністю:

$$F_{\sigma} = \frac{m(\varphi) \cdot v^2}{R} = m(\varphi) \cdot \omega^2 \cdot R. \quad (7)$$

Підставимо вираз (7) в рівняння (6), в результаті чого отримаємо:

$$m(\varphi) \cdot \omega^2 \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot \sin(\varphi) + N_{\sigma} - N_n = 0. \quad (8)$$

З отриманого рівняння знаходимо:

$$N_n = m(\varphi) \cdot \omega^2 \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot \sin(\varphi) + N_{\sigma} = 0i. \quad (9)$$

Підставивши вираз (9) в рівняння (5), отримаємо:

$$m(\varphi) \cdot R^2 \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm(\varphi)}{d\varphi} \cdot R^2 \cdot \omega^2 = \quad (10)$$

$$f_{\sigma} \cdot N_{\sigma} \cdot R - f_n \cdot [m(\varphi) \cdot \omega^2 \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot \sin(\varphi) + N_{\sigma}] \cdot R + m(\varphi) \cdot g \cdot R \cdot \cos(\varphi)$$

З протягуванням порції хлібної маси в проміжку молотильний барабан-підбарабання вміст зернової частини в хлібній масі зменшуватиметься. На початку руху порція матиме масу:

$$m_0 = \rho \cdot l \cdot h_0 \cdot \Delta\alpha \cdot R, \quad (11)$$

Де: ρ – густина хлібної маси; l – довжина бича (барабана); h_0 – товщина потоку хлібної маси на вході в молотильний апарат; R – радіус молотильного барабана.

Враховуючи рівняння (11) отримаємо залежність зміни маси порції хлібної маси:

$$m[\varphi] = \frac{m_0}{K_c + K_z} \cdot [K_c + K_z \cdot e^{-a(\varphi - \varphi_0)}] \quad (12)$$

де K_c , K_z – коефіцієнти, що враховують вміст відповідно соломи та зернової частини в хлібній масі; a – коефіцієнт просівної здатності підбарабання (визначається експериментально).

Продиференціювавши рівняння (12) отримаємо:

$$\frac{dm[\varphi]}{d\varphi} = -\frac{m_0 \cdot K_z \cdot a}{K_c + K_z} \cdot e^{-a(\varphi - \varphi_0)} \quad (13)$$

Величина нормальної реакції хлібної маси на бич може бути визначена такою залежністю:

$$N_{\sigma} = c \cdot b \cdot l \left(h_0 - \delta_n - (\delta_0 - \delta_n) \cdot \left(\frac{\varphi_n - \varphi}{\varphi_n - \varphi_0} \right)^2 \right) \quad (14)$$

Враховуючи (12)–(14), а також зробивши деякі перетворення і скорочення отримаємо рівняння руху хлібної маси, що припадає на один бич:

$$\begin{aligned} & \frac{m_0}{K_c + K_z} \cdot [K_c + K_z \cdot e^{-a(\varphi - \varphi_0)}] \cdot \left[R \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} + f_n \cdot \omega^2 \cdot R + g \cdot (f_n \cdot \sin(\varphi) - \cos(\varphi)) \right] + \\ & + (f_n - f_{\sigma}) \cdot c \cdot b \cdot l \left(h_0 - \delta_n - (\delta_0 - \delta_n) \cdot \left(\frac{\varphi_n - \varphi}{\varphi_n - \varphi_0} \right)^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(-\frac{m_0 \cdot K_z \cdot a}{K_c + K_z} \cdot e^{-a(\varphi - \varphi_0)} \right) \cdot R \cdot \omega^2 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Рівняння (15) являє собою нелінійне диференціальне рівняння першого порядку, тому для його розв'язку використаємо чисельний метод проф. Г.Г. Баранова [1].

Згідно з цим методом рівняння (10) представимо у виді:

$$2 \cdot m(\varphi) \cdot d\omega + \omega \cdot dm(\varphi) = \frac{2}{\omega \cdot R} \cdot \{N_{\sigma} \cdot (f_{\sigma} - f_n) - m(\varphi) \cdot [g \cdot (f_n \cdot \sin(\varphi) - \cos(\varphi)) f_n \cdot \omega^2 \cdot R]\} d\varphi \quad (16)$$

Виходячи з умови відсутності сингулярності особливих точок та розривів, замінивши в рівнянні (11): $d\varphi = \Delta\varphi$ – крок інтегрування; $dm(\varphi) \approx m_{i+1} - m_i$; $d\omega = \omega_{i+1} - \omega_i$; $\Delta\varphi = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ отримаємо:

$$2 \cdot m_i \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i) + \omega_i \cdot (m_{i+1} - m_i) = \frac{2}{\omega_i \cdot R} \cdot \{N_{\sigma i} \cdot (f_{\sigma} - f_n) - m_i \cdot [g \cdot (f_n \cdot \sin(\varphi) - \cos(\varphi)) + f_n \cdot \omega_i^2 \cdot R]\} \Delta\varphi_i \quad (17)$$

де: φ_i , ω_i , m_i , $N_{\sigma i}$ – відповідно кутова координата, кутова швидкість, маса порції хлібної маси та нормальний тиск на неї зі сторони барабана в положенні i ($i=0,1,\dots,n$); n – кількість точок розрахунку; φ_{i+1} , ω_{i+1} , m_{i+1} – відповідно кутова координата, кутова швидкість і маса порції хлібної маси в положенні $i+1$.

Розв'язавши рівняння (17) відносно ω_{i+1} отримаємо функцію зміни кутової швидкості в кожному наступному положенні при походженні всієї ділянки підбарабання:

$$\omega_{i+1} = \frac{1}{2} \cdot \omega_i \cdot \left(3 - \frac{m_{i+1}}{m_i} \right) + \frac{1}{m_i \cdot \omega_i \cdot R} \times \{N_{\sigma i} \cdot (f_{\sigma} - f_n) - m_i \cdot [g \cdot (f_n \cdot \sin(\varphi) - \cos(\varphi)) + f_n \cdot \omega_i^2 \cdot R]\} \Delta\varphi \quad (18)$$

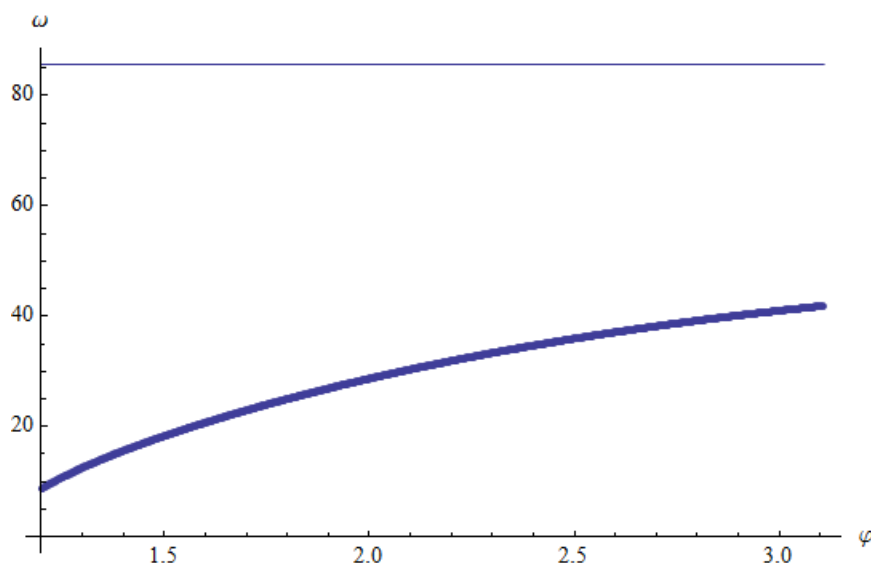


Рис. 2. Графік залежності кутової швидкості порції хлібної маси (культура – пшениця) від кута повороту барабана.

За допомогою даного методу, а також пакету Mathematica розв'язуємо рівняння (15) та будуємо графік залежності кутової швидкості порції хлібної маси відносно кута повороту барабана (рис. 2).

Висновок. Отримане рівняння руху порції хлібної маси в молотильному зазорі зернозбирального комбайна. На основі даного рівняння було побудовано графік залежності зміни кутової швидкості порції хлібної маси від кута повороту молотильного барабана. Проаналізувавши даний графік, встановлено, що кутова швидкість порції хлібної маси є величиною змінною і збільшується з проходженням порції в молотильному зазорі від початку входження і до виходу.

Список літератури

1. Агроболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболеский. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
2. Богус Ш.Н. Движение обмолачиваемой массы в МСУ / Ш.Н. Богус, Е.И. Клещ, А.Е. Слюсаревский // IV Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум». www.imperiaprazdnika.com.ua/conference.
3. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало ; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – Кн. 2: Машини для рільництва. – С. 83–173.
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / / С.С. Яцун, М.Я. Довжик ; за ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – С. 345–358.
5. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. ; за ред. Д.Г. Войтюка. – К. Вища освіта, 2005. – 464 с.

Представлены исследования движения порции хлебной массы в зазоре молотильный барабан-подбарабання. Было установлено уравнения движения порции хлебной массы, а также построен график зависимости изменения угловой скорости порции хлебной массы от угла поворота молотильного барабана зерноуборочного комбайна.

Молотильный барабан, подбарабання, порция хлебной массы, уравнения движения.

The research of grain mass's motion in concave gap is conducted. Motion's equation of grain portion was established. Also dependency's graph of change grain portion's angular velocity was plot.

Threshing drum, concave, grain portion, motion's equation.

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВОФАЗНОГО СОШНИКА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Л.В. Аніскевич, доктор технічних наук

Проведено аналіз функціонування автоматизованої системи стабілізації ходу сошника для двофазного способу заробки насіння при сівбі просапних культур за технологіями точного землеробства.

Насіння, двофазний сошник, модель функціонування, якість заробки.

Постановка проблеми. На даний час набувають застосування двофазні сошникові системи з механізмом корекції положення вдавлюючого диска [1, 2], які дозволяють проводити високоякісну заробку насіння на задану глибину. Застосування двофазної системи обумовлено тим, що існуючі конструкції сошників не дозволяють у повному обсязі виконати вимоги якісної заробки насіння.

Аналіз останніх досліджень. Такий спосіб заробки насіння сільськогосподарських культур в ґрунт (рис. 1) реалізується за 2 фази. На першій фазі конусний щілиноутворювач 1 на радіальному повідку 3 з обмежувачими ребордами 2 входить в ґрунт і утворює щілину на глибину a_1 з геометричними параметрами, що сприятливі до заклинювання в ній насіння і на меншу ніж задана a глибину. Для безвідривного руху щілиноутворювача по нерівностях і стабілізації його ходу слугують пружина c_1 та демпфер d_1 . Далі в щілину подається насіння, яке фіксується заклинюванням його між стінками борозенки без розкочування вздовж рядка.

На другій фазі вдавлюючий диск 6, що приєднаний за допомогою радіального підвісу 5 до рами 4, рухається по осі щілини і разом зі зрізаним зі стінок борозенки вологим ґрунтом "дотискає" насіння на задану глибину a .

Особливість двофазного способу заробки насіння полягає в тому, що щілиноутворювач і вдавлюючий диск знаходяться між собою на технологічній відстані b . У зв'язку з цим для закладки насіння на задану глибину, що відповідає еквідистантній від поверхні поля лінії, необхідно проводити корекцію положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача з обмежувальними ребордами за умов руху по мікрорельєфу поверхні поля.

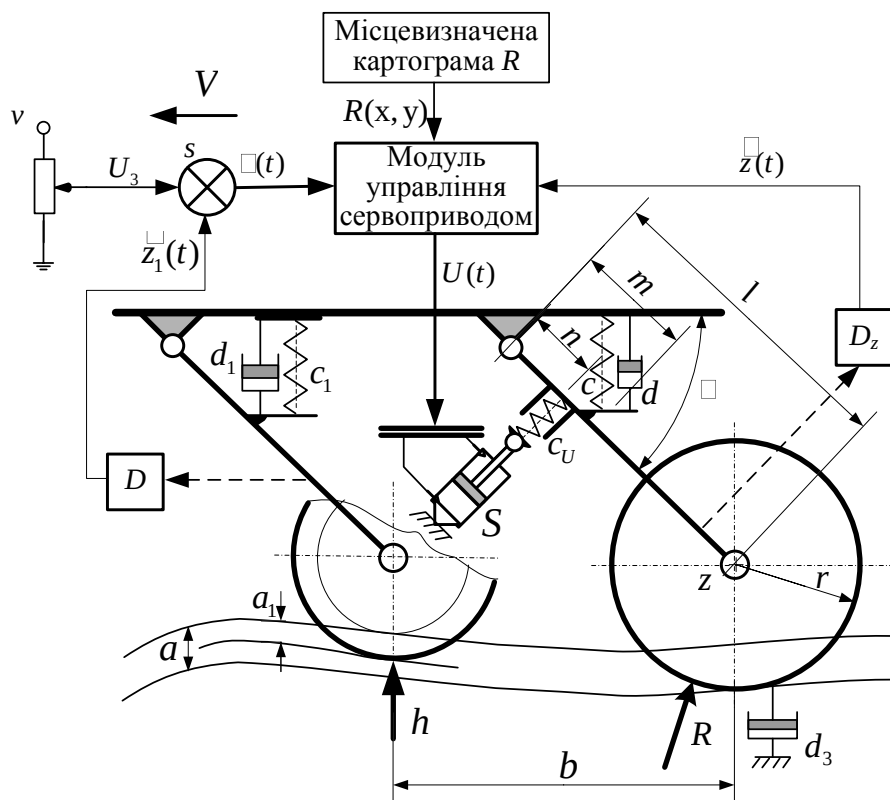


Рис. 2. Сошникова система з автоматизованою системою корекції положення вдавлюючого диска.

Мета досліджень. Така автоматизована система повинна надати можливість працювати за технологіями ТЗ, а також покращити ефективність роботи коректуючого пристрою і сошникової системи в цілому для широкого діапазону технологічних умов функціонування.

Результати досліджень. Положення щілиноутворювача контролюється датчиком положення D , сигнал від якого подається на суматор s . До суматора подається також сигнал ручного налаштування U_3 , а на виході маємо сигнал $l(t)$, який подається до модуля управління сервоприводом. До цього модуля також подається сигнал зворотного зв'язку $\hat{z}(t)$ від датчика положення вдавлюючого диска, а також сигнал $R(x,y)$ від блоку розрахунку місцевизначеної щільності ґрунту. Останній функціонує на підставі інформації про поточні координати МТА в полі та картограми місцевизначеної щільності ґрунту.

Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска представлена на рис. 3.

До блоку розрахунку сигналу місцевизначеної щільності ґрунту від блоку зчитування (PC card) картограми стану ґрунту надходить сигнал $R(x,y)$. До цього ж блоку надходить сигнал $\gamma(x,y)$ про світові координати місцезнаходження МТА в полі від датчика глобальної

системи позиціонування (ГСП). Вихідним сигналом цього блоку є нормалізований по амплітуді і синхронізований із світовими координатами сигнал $R(x, y, t)$.

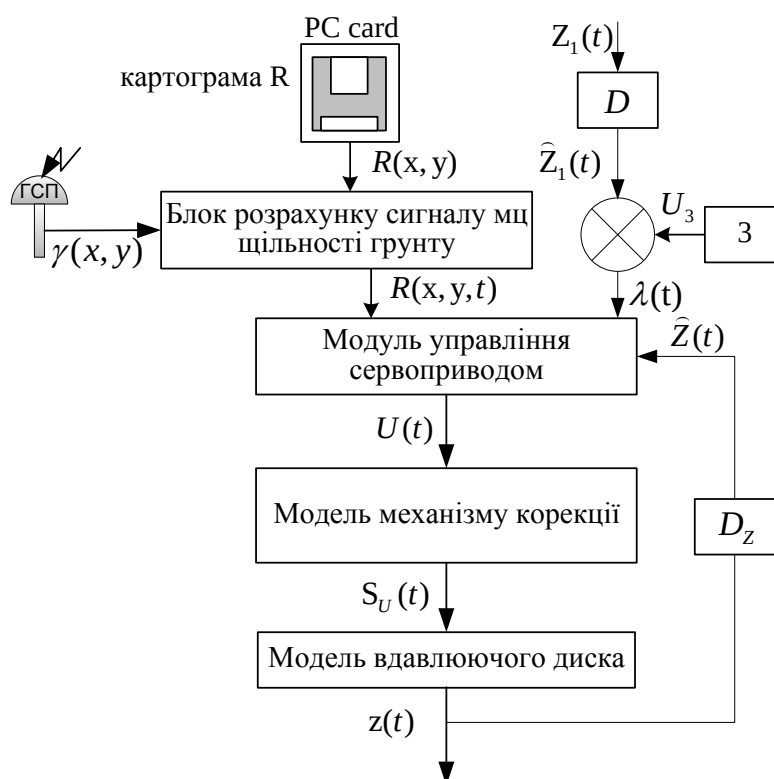


Рис. 3. Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска.

В якості сигналу для слідкування (цілі функціонування) виступає вихідний сигнал $\lambda(t)$. Цей сигнал формується як результат подачі до суматора сигналів $\hat{z}_1(t)$ датчика D контролю положення щілиноутворювача та сигнал ручного регулювання положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача з вихідним сигналом U_3 .

Ціль функціонування досягається, з одного боку, шляхом організації руху щілиноутворювача на глибині a_1 , а також шляхом дії сервопривода на повідець радіального підвісу вдавлюючого диска (контролюється датчиком D_z з вихідним сигналом зворотного зв'язку $\lambda(t)$). В результаті на виході системи маємо кінцеву глибину заробки насіння $z(t)$.

Основною задачею є розрахунок оптимального значення керуючої дії $U(t)$, яка подається на механізм корекції положення вдавлюючого диска. Шток сервопривода S (рис. 2) коректує положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача в залежності від за-

даних регулювань, стану нерівностей поверхні поля, а також величини опору ґрунту у відповідності до координат місцеположення МТА в полі і величини занурення вдавлюючого диска. В результаті на виході системи маємо конкретне положення вдавлюючого диска $Z(t)$, яке знаходиться в функції сигналу керуючої дії $U(t)$, що надходить від модуля управління сервоприводом.

Якість функціонування сошникової групи будемо оцінювати похибкою відхилення оцінки $\hat{z}(t)$ дійсної глибини ходу вдавлюючого диска від заданої $\delta_3(t)$ на заліковому періоді T функціонування сошника:

$$I = \int_0^T \Delta^2 dt, \quad (1)$$

де: $\Delta = \delta_3(t) - \hat{z}(t)$ – похибка виконання завдання.

При математичному описі сошникової групи зручно розбити систему на ланки і для кожної ланки записати своє рівняння. Для цього скористаємось представленням диференціальних рівнянь, що описують функціонування системи, передаточними функціями кожної ланки.

Передаточну функцію моделі вдавлюючого диска знайдемо через складання диференціального рівняння руху вдавлюючого диска. Для складання рівнянь динаміки руху сошникової групи по нерівностях поверхні поля скористаємось рівняннями динаміки Лагранжа 2-го роду [4, 5]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial P}{\partial q_i} - \frac{\partial F}{\partial \dot{q}_i} + Q_{q_i} \quad (2)$$

де: T і P – кінетична та потенціальна енергії;

F – дисипативна функція;

q_i – узагальнені координати;

Q_{q_i} – узагальнена сила.

При прийнятих припущеннях вдавлюючий диск є системою, положення якої визначається узагальненою координатою z . Кінетична енергія системи складається з енергії поступального руху центру мас вдавлюючого диска, а також варіацій кутової швидкості його обертання w :

$$T = \frac{1}{2} (M(\dot{z}^2 + (\tan(b) \dot{z})^2) + I w^2) \quad (3)$$

де: M – маса вдавлюючого диска;

I – момент інерції вдавлюючого диска відносно осі його обертання;

ω – варіації швидкості обертання вдавлюючого диска, що обумовлені роботою радіальної підвіски.

Варіації швидкості ω визначаються виразом:

$$\omega = \frac{\tan(\beta)z'}{r}. \quad (4)$$

Після підстановки (4) у (3) маємо:

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{I \tan(\beta)^2 z'(t)^2}{r^2} \right) + M(z'(t)^2 + \tan(\beta)^2 z'(t)^2) \quad (5)$$

Потенціальна енергія системи має вигляд:

$$P = Mgz(t) + \frac{1}{2} \left(c \frac{m}{l} z(t)^2 + c_U D_U^2 \right) \quad (6)$$

де: c_U – коефіцієнт жорсткості пружини механізму корекції положення вдавлюючого диска;

D_U – деформація пружини механізму корекції положення вдавлюючого диска.

Деформація D_U визначається з виразу:

$$\Delta_U = \left(z(t) \frac{m}{l} - S_U \right). \quad (4)$$

З урахуванням (7) будемо мати:

$$P = Mgz(t) + \frac{1}{2} \left(\frac{cmz(t)^2}{l} \right) + \frac{1}{2} c_U \left(z \frac{m}{l} + S_U \right) \quad (5)$$

Дисипативна функція системи у даному випадку має вигляд:

$$F = \frac{1}{2} d \frac{m}{l} z'^2 \quad (6)$$

Часткова похідна по швидкості координати z дає:

$$F = \frac{dmz'[t]^2}{2l} \quad (7)$$

Узагальнена сила системи:

$$Q = R_z + R_x \tan[b]. \quad (8)$$

Складова $\frac{\partial T}{\partial q_i}$ для даного випадку має вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial (z)} = 0 \quad (9)$$

Після підстановки (5)–(12) у рівняння динаміки (2) і проведення необхідних перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху вдавлюючого диска:

$$z'' \left(\frac{I \tan(\beta)^2}{R^2} + M(1 + \tan(\beta)^2) \right) + z' \frac{(dm + ld_3)}{l} + z \left(\frac{cm}{l} + \frac{n^2 \sin(\beta)^2 c_U}{l^2} \right) - Q_u = S_U \left(\frac{n \sin(\beta) c_U}{l} \right) \quad (10)$$

де: $Q_u = R_z + R_x \tan(\beta) - Mg$.

Передаточна функція моделі вдавлюючого диска сошникової системи має вигляд:

$$W_{vd} = \frac{A_4}{A_1 s^2 + A_2 s + A_3}. \quad (11)$$

$$\text{де: } A_1 = \frac{I \tan(\beta)^2}{R^2} + M(1 + \tan(\beta)^2); \quad A_2 = \frac{(dm + ld_3)}{l}; \quad A_3 = \frac{cm}{l} + \frac{n^2 \sin(\beta)^2 c_U}{l^2};$$

$$A_4 = \frac{n \sin(\beta) c_U}{l};$$

s – символ диференціювання по часу.

Механізм корекції положення вдавлюючого диска відповідає конструкції позиційних приводів [6], модель динаміки яких можливо представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} S'_U(t) = V_{S_U}(t); \\ V'_{S_U}(t) = -\frac{2\xi_k}{T_k} V_{S_U}(t) - \frac{1}{T_k^2} S_U(t) + \frac{K_k U(t)}{T_k^2}, \end{cases} \quad (12)$$

де: K_k , ξ_k та T_k – відповідно коефіцієнт підсилення, затухання та стала часу механізму корекції положення; $U(t)$ – керуюча дія.

Систему рівнянь (15) представимо у вигляді рівняння:

$$s^2 S_U(t) + \frac{2\xi_k}{T_k} s S_U(t) + \frac{1}{T_k^2} S_U(t) = \frac{K_k U(t)}{T_k^2}. \quad (13)$$

З урахуванням (16) передаточна функція моделі сервомеханізму корекції положення вдавлюючого диска має вигляд:

$$W_{np} = \frac{K_k}{T_k^2 s^2 + 2T_k \xi_k s + 1}. \quad (14)$$

Модель датчика положення вдавлюючого диска представимо рівняннями:

$$\begin{cases} \hat{z}(t) = \tilde{\mu}(t) A_d; \\ \tilde{\mu}'(t) = -\frac{1}{T_d} [\tilde{\mu}(t) - z(t)], \end{cases} \quad (15)$$

де: $\hat{z}(t)$ – вихідний сигнал датчика;

$$A_d = 1 + \Delta_d(t) + \xi_d(t);$$

$\Delta_d(t)$ та $\xi_d(t)$ – систематична та випадкова складові відносної помилки функціонування датчика;

T_d – стала часу датчика;

$\tilde{\mu}(t)$ – проміжна змінна величина.

Систему (18) представимо у вигляді:

$$\hat{z}(t) \left[\frac{s}{A_d} + \frac{1}{T_d A_d} \right] = \frac{z(t)}{T_d}. \quad (19)$$

Тоді передаточна функція моделі датчика положення вдавлюючого диска буде мати вигляд:

$$W_d = \frac{A_d}{T_d s + 1} \quad (20)$$

Рівняння (14), (17), (20) складають модель функціонування двофазної сошникової системи для технологій точного землеробства. Аналіз такої моделі дає можливість обрати структуру та значення параметрів керуючої дії $U(t)$ (закону регулювання) які забезпечують досягнення усталеності процесу функціонування, а також роботу при допустимих значеннях помилки слідування за виконанням завдання.

Для забезпечення нормальної роботи сошникової групи застосовано модуль управління сервоприводом, який разом з іншими елементами сошникової системи утворюють схему автоматичного регулювання. При цьому важливо забезпечити високі динамічні характеристики такі, як: усталеність функціонування, час, швидкість, точність регулювання тощо. Для цього необхідно, з одного боку, при відомій структурі системи знайти оптимальне значення її динамічних параметрів, а також визначити структуру і параметри закону керування, з другого боку. Структуру та параметри керуючої дії $U(t)$ обираємо виходячи з умов забезпечення необхідних значень показників усталеності та якості перехідних процесів, що оцінюються показником (1).

Коефіцієнти закону керування будемо шукати за допомогою передаточної функції яку представимо у вигляді:

$$W_U = \frac{K_1}{K_2 s^2 + K_3 s + 1} \quad (16)$$

де: K_1 , K_2 , K_3 – коефіцієнти закону керування.

Проаналізуємо роботу сошникової групи, коли керування положенням вдавлюючого диска відбувається сервоприводом у вигляді механізму "електродвигун-редуктор" з параметрами $T_k=0,08$ с, $\xi_k=0,3$, $K_k=0,8$. Динамічні параметри датчика інтенсивності вихідного потоку насіння мають величини: $T_d=0,1$ с, $A_d=1,2$. Коефіцієнти закону керування K_1 , K_2 , K_3 відповідають величинам 0,6; 0,1 та 0,1 відповідно. Розв'язання математичної моделі процесу управління глибиною хода вдавлюючого диска проводилось в середовищі Simulink програмного продукту MatLab. Результат розв'язання процесу функціонування двофазної сошникової системи у відповідності до схеми

на рис. 2 наведений на рис. 4. З графіку глибини ходу вдавлюючого диска видно, що має місце значний вплив на якість виконання завдання систематичних та випадкових складових помилок датчика D_z , що контролює положення вдавлюючого диска.

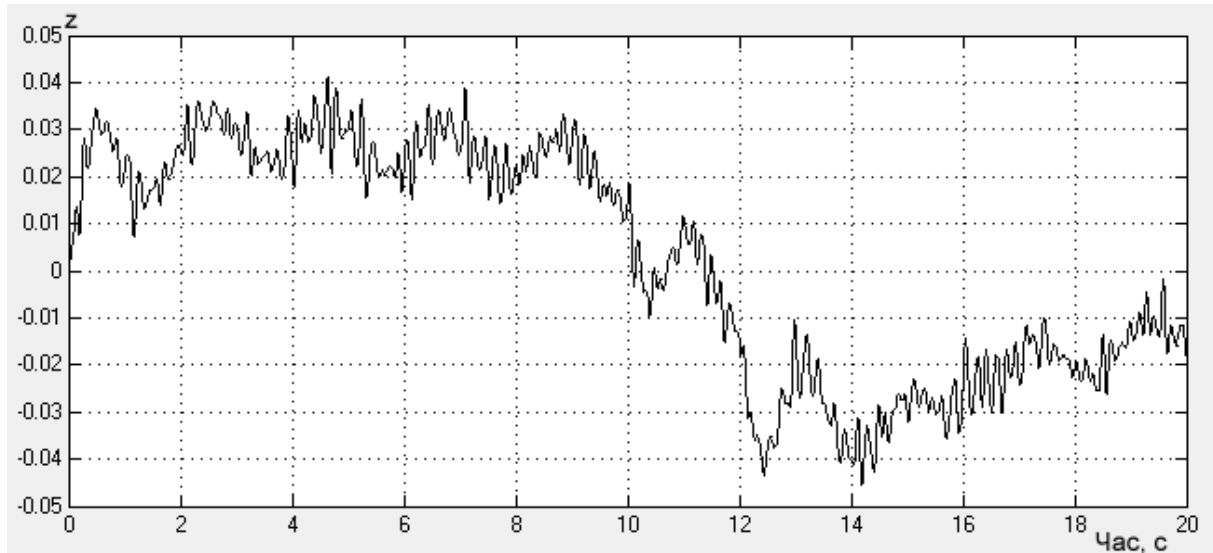


Рис. 4. Графік реалізації глибини ходу вдавлюючого диска.

Наявність високочастотних шумових складових збільшує дисперсію помилки регулювання, приводять систему до нестійкого режиму роботи.

Для зменшення впливу збурень в практичних ситуаціях застосовуються два основних способи: зменшення коефіцієнта підсилення регулятора, тобто, фактично, перехід на інтегральний закон регулювання, який малочутливий до шумів та фільтрації вимірюваного сигналу. В даному випадку необхідна фільтрація високочастотних (в порівнянні з основним сигналом) збурень з метою отримання мінімальної дисперсії помилки регулювання.

У загальному випадку, для багатомірних систем, задача оптимальної фільтрації вирішується за допомогою фільтру Калмана. Цей фільтр, разом з отриманням оцінок вектору стану об'єкту, забезпечує мінімальну дисперсію всіх його компонентів. Проте, для розрахунку параметрів фільтру, необхідне знання статистичних характеристик шумів, що в реальних умовах ускладнено. Крім того, в загальному випадку, задача фільтрації суперечлива, оскільки спектри збурення і шуму можуть накладатися один на одне. У даному випадку це протиріччя вирішене за допомогою медіанного фільтру. Такий фільтр замінює центральне значення прилеглої області $m \times n$ значень функції на його серединне значення. Для компенсації втрат розмаху сигналу на виході фільтра збільшено величину коефіцієнта підсилення модуля управління сервоприводом.

Графік реалізації заданої норми сівби для такого варіанту наведений на рис. 5. На графіку також наведені нормовані (безрозмірні) значення місцевизначеної щільності ґрунту від блоку зчитування R картограми стану ґрунту.

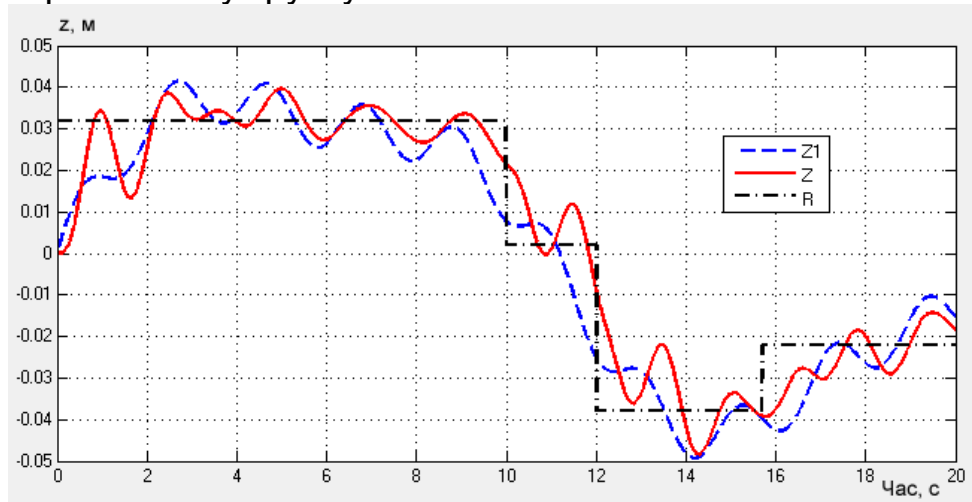


Рис. 5. Графік реалізації глибини ходу вдавлюючого диска z в залежності від глибини ходу щілиноутворювача z_1 та значення місцевизначеної щільності ґрунту R .

Як видно, шумові складові вихідного процесу практично відсутні. Після проведення комп'ютерного моделювання і операції пошуку оптимальних значень динамічних параметрів елементів сошникової групи вдалося досягти якісного виконання заданого режиму роботи.

Похибка і відхилення оцінки $\hat{z}(t)$ глибини ходу вдавлюючого диска від заданої на заліковому періоді T функціонування сошника склала близько $1,1 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ і показана на рис. 6.

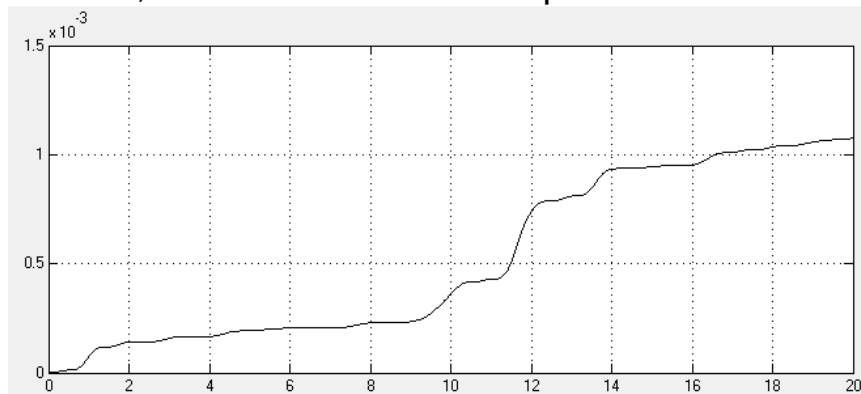


Рис. 6. Накопичення загальної похибки відхилення глибини ходу вдавлюючого диска від заданої.

Як видно з рис. 6, інтенсивність накопичення похибки відхилення глибини ходу вдавлюючого диска від заданої глибини зростає в моменти різкої зміни завдання на задану глибину. В цілому, виконання завдання з підтримки заданої глибини ходу сошникової групи

виконується задовільно. Динамічні параметри системи підібрані таким чином, що зміни місцевизначеної щільності ґрунту не завдають суттєвого впливу на стабільність ходу двофазного сошника.

Висновки

1. На характер положення вдавлюючого диска сошникової системи значною мірою впливають систематичні та шумові похибки вимірювань кінематичних режимів роботи МТА та датчиків зворотних зв'язків, що обумовлює підвищені вимоги до параметрів електромеханічних (-гідравлічних) елементів системи регулювання.

2. Для випадку керування положенням вдавлюючого диска сошникової системи механізмом "електродвигун-редуктор-шток" оптимальними параметрами системи регулювання є: стала часу механізму регулювання $T_k=0,08$ с, коефіцієнт затухання $\xi_k=0,3$, коефіцієнт передачі, $K_k=0,8$. Коефіцієнти закону керування K_1 , K_2 , K_3 відповідають величинам 0,6; 0,1 та 0,1 відповідно.

Список літератури

1. Патент на изобретение № 1812924. Способ посева семян сельскохозяйственных культур и устройство для его осуществления / Л.В. Анискевич, Г.Р. Гаврилюк, Г.П. Опалко и др. : опубл. в бюл. № 16, 1993.
2. Патент України на корисну модель № 93137 Щілиноутворювач для сівби сільськогосподарських культур / Л.В. Аніскевич, Ю.О. Росамаха : опубл. в бюл. № 18 від 25.09.2014.
3. Адамчук В.І. Технології точного землеробства на службі сільського господарства / В.І. Адамчук, Л.В. Аніскевич // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 10. – С. 42–44.
4. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и агрегатов) / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 136 с.
5. Лурье А.И. Аналитическая динамика / А.И. Лурье. – М.: Физмат, 1961. – 260 с.
6. Понтаев Н.Ф. Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы / Н.Ф. Понтаев, В.Г. Дианов. – М.: Недра, 1970. – 366 с.

Проведен анализ функционирования автоматизированной системы стабилизации хода сошника для двухфазного способа заделки семян при посеве пропашных культур по технологиям точного земледелия.

Семена, двухфазный сошник, модель функционирования, качество заделывания.

The analysis of functioning of automatic system for stabilizing of motion of 2-phase coulter for cultivated cultures in precision farming is conducted.

Seeds, 2-phase coulter, functioning model, quality seal.

ОЦІНЕННЯ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ ТА ЗАХОДИ ДЛЯ ЇХ ЗНИЖЕННЯ НА МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

О.В. Войналович, кандидат технічних наук

Проаналізовано причини нещасних випадків на механізованих процесах збирання цукрових буряків та систематизовано небезпечні та шкідливі виробничі чинники, що несприятливо впливають на працівників. Запропоновано заходи для мінімізації виробничих ризиків на робочих місцях механізаторів та допоміжних працівників.

Виробничі ризики, цукрові буряки, механізоване збирання, небезпечні виробничі чинники, нещасні випадки.

Постановка проблеми. Великі площі родючих ґрунтів, придатних для вирощування цукрових буряків за інтенсивними технологіями, сприятливі кліматичні умови, наявність кваліфікованих працівників, які мають досвід вирощування високих і сталих врожаїв, наявність засобів комплексної механізації відкривають великі можливості для вирощування цукрових буряків в Україні.

Тож в останні роки актуальною є задача відновлення галузі буряківництва в Україні. Для цього потрібно оптимізувати обсяги виробництва сировини для одержання бурякового цукру, приділити належну увагу забезпеченню сільськогосподарських підприємств надійною та якісною технікою для вирощування та збирання цукрових буряків, перейти на широкозахватну схему висівання цукрових буряків із застосуванням комбінованих агрегатів для поєднання технологічних операцій тощо.

Разом з тим керівники господарств мають звернути особливу увагу на забезпечення нормативних умов праці під час механізованого вирощування та збирання цукрових буряків, адже ці технологічні процеси тривають майже весь календарний рік. До найбільш небезпечних належать механізовані процеси збирання цукрових буряків.

Так, 7 жовтня 2006 р. у ПП «Урожай» (с. Красносільці Золочівського району Львівської області) стався смертельний нещасний випадок з механізатором внаслідок захоплення його одягу рухомим карданним валом приводу доочищувачів під час ремонту в польових умовах коренезбиральної самохідної машини КС-6Б.

24 жовтня 2012 р. підсобна працівниця СФГ «Добробут» (с. Бесідка Ставищанського району Київської області) під час

навантажування цукрового буряка потрапила під ківш навантажувача, внаслідок чого отримала хребтово-спинномозкову травму, від якої згодом померла.

Восени 2013 р. нещасний випадок стався у СГК «Білопільський» (Козятинський район Вінницької області) під час механізованого збирання урожаю цукрового буряка. Під час очищення буряконаливувача отримав перелом ноги різнороб – його нога потрапила під неогороджені обертові частини.

Так, 7 жовтня 2006 р. у ПП «Урожай» (с. Красносільці Золочівського району Львівської області) стався смертельний нещасний випадок з механізатором внаслідок захоплення його одягу рухомим карданним валом приводу доочищувачів під час ремонту в польових умовах коренезбиральної самохідної машини КС-6Б.

24 жовтня 2012 р. підсобна працівниця СФГ «Добробут» (с. Бесідка Ставищанського району Київської області) під час навантажування цукрового буряка потрапила під ківш навантажувача, внаслідок чого отримала хребтово-спинномозкову травму, від якої згодом померла.

Восени 2013 р. нещасний випадок стався у СГК «Білопільський» (Козятинський район Вінницької області) під час механізованого збирання урожаю цукрового буряка. Під час очищення буряконаливувача отримав перелом ноги різнороб – його нога потрапила під неогороджені обертові частини.

Аналіз останніх досліджень. Вимоги безпеки і гігієни праці на виробничих процесах збирання цукрових буряків регламентує ряд нормативних документів з охорони праці [1-4]. Деяко застарілим документів, що втратив чинність, є НАОП 2.1.10-2.05-81 ОСТ 46.1.112-81 «Вирощування та збирання цукрових буряків. Вимоги безпеки».

Але ці документи розроблено без врахування ризикорієнтованого підходу, на основі якого нині має бути впроваджено систему управління охороною праці на підприємствах агропромислового комплексу [5-7]. Методологія ризик-менеджменту з охорони праці в аграрній галузі ще не знайшла достатнього наукового обґрунтування і практичної реалізації на законодавчому рівні [8]. Тому потрібно систематизувати небезпечні та шкідливі виробничі чинники, що несприятливо впливають на працівників, задіяних на механізованих процесах збирання цукрових буряків, та виокремити їх згідно з рівнем виробничого ризику [9].

Мета досліджень. Проаналізувати небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час збирання цукрових буряків і запропонувати заходи для мінімізації виробничих ризиків на робочих місцях.

Результати досліджень. В осінній період (протягом жовтня-листопада) у сільськогосподарському виробництві підвищеним ризи-

ком виконання робіт характеризуються механізовані процеси збирання цукрових буряків. Це обумовлено як загальними особливостями сільськогосподарського виробництва (сезонність і пов'язана з нею терміновість робіт, що призводить до перенапруження працівників; перебування працівників на відкритому повітрі чи у кабіні, де не забезпечено нормативні параметри мікроклімату; розташування місць роботи на віддаленні від місць проживання працівників; необхідність застосування ручної праці із частим змінням робочих операцій та ін.), так і з несприятливими погодними умовами у цей період, способами виконання механізованих процесів, незадовільним технічним станом задіяних сільськогосподарських агрегатів (рис. 1).

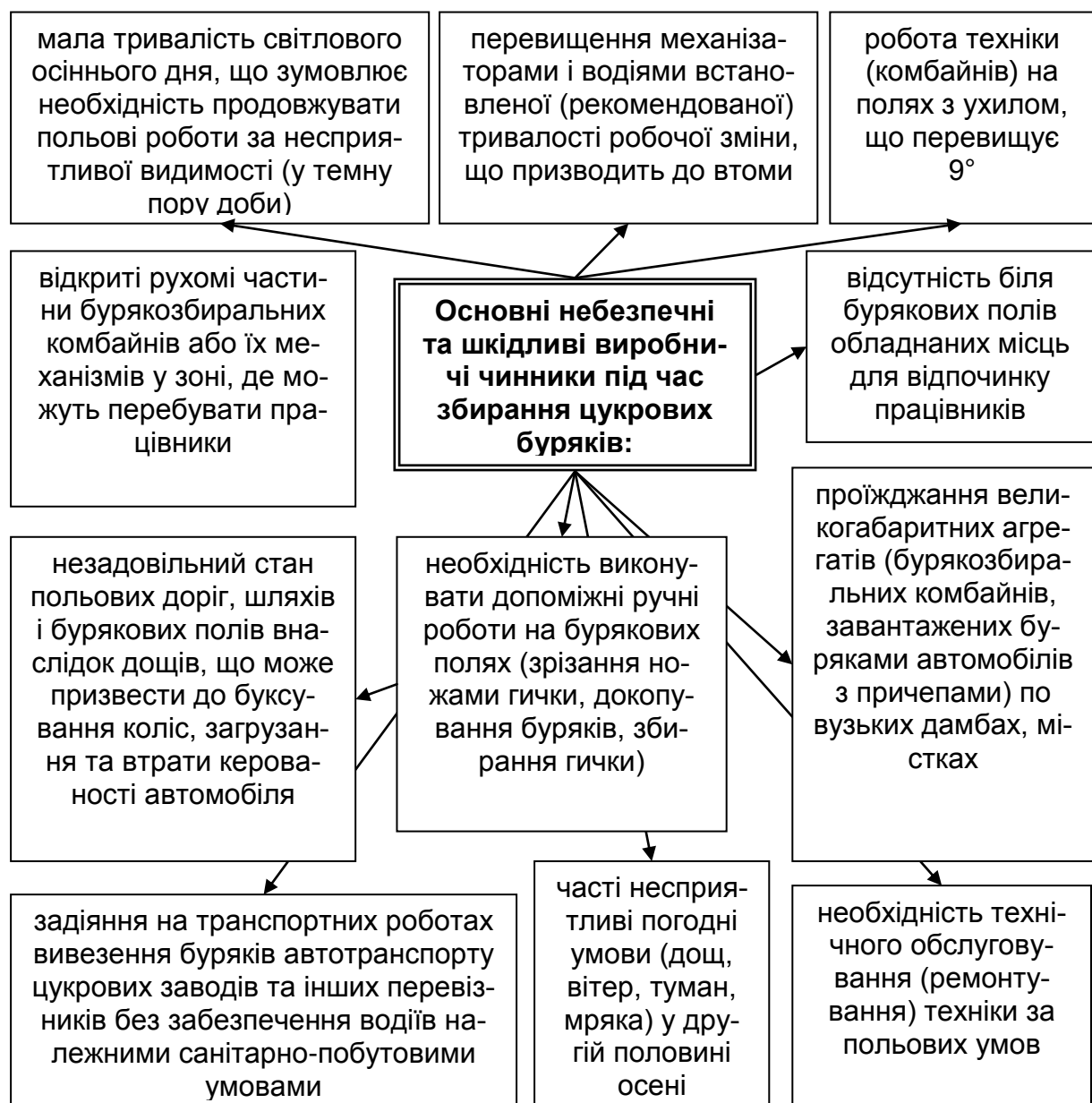


Рис. 1. Основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час збирання цукрових буряків.



Рис. 2. Аналіз небезпечних ситуацій під час механізованого збирання цукрових буряків.

Високі рівні виробничого ризику травмування під час механізованого збирання буряків зумовлені: наїждженням агрегатів (транспортних засобів) на людей, які перебувають на полі; потраплянням частин тіла та одягу в незакриті обертові механізми агрегату (комбайну); торканням руками гострих частин робочих органів агрегату; перекиданням транспортних засобів на схилах чи на небезпечних ділянках доріг; раптовим опусканням навісного знаряддя.

Аналіз небезпечних ситуацій під час збирання цукрових буряків як поєднання небезпечних умов та небезпечних дій представлено на рис. 2. Небезпечні дії – це такі вчинки працівника, що суперечать науково-обґрунтованим нормам професійної поведінки під час виконання виробничих завдань. Небезпечні дії здебільшого зумовлюють порушення працівником нормативних вимог охорони праці, режиму роботи обладнання та ін. Внаслідок небезпечної дії працівник потрапляє до небезпечної зони.

Небезпечні умови визначають недоліки конструкцій машин, технологічного обладнання, низький рівень організації виробництва (низький професійний рівень працівників, недостатня підготовка з охорони праці). Небезпечні умови зумовлюють машини через їх зношення чи конструкційні недоліки, внаслідок порушення у процесі роботи регулювання окремих елементів тощо. Небезпечними умовами виробничого довкілля є незадовільний стан доріг, полів, робочих зон, маршрутів руху агрегатів, складні погодні дорожні умови тощо.

Небезпечні умови і небезпечні дії, як випадкові події поєднуючись між собою, можуть утворити небезпечну ситуацію, наслідком якої може бути травма чи аварія (залежно від характеру джерела небезпеки, поведінки працівників, стану виробничого довкілля тощо).

До найбільш поширених порушень нормативів безпеки праці на механізованих виробничих процесах збирання цукрових буряків належать:

- а) відсутність:
 - попереджувальних знаків і написів про наявні небезпеки на мобільних агрегатах та бурякових полях;
 - інструкцій з охорони праці, технічних описів та інструкцій з експлуатації бурякозбиральних комбайнів, тракторів, вантажних автомобілів та іншого обладнання;
 - захисних пристроїв (огорож) на рухомих частинах агрегатів (комбайнів);
 - двостороннього зв'язку на агрегатах, де роботи виконують два і більше працівників;
 - захисних пристроїв на нагрітих частинах машин та обладнання;

- засобів колективного та індивідуального захисту, спецодягу, спецвзуття або їх невідповідність технічним умовам;

- засобів захисту від дії шуму та вібрації або їх неефективність;

б) несправність:

- механізмів керування та гальмівних систем бурякозбиральних комбайнів, тракторів та вантажних автомобілів;

- пускових та блокувальних пристроїв;

- захисних огорож на нестационарних робочих місцях;

- електроприводів, пуско-регулювальної апаратури та іншого електрообладнання;

- тягово-зчіпних пристроїв на мобільних агрегатах;

- вентиляційного та опалювального обладнання у кабінах комбайнів, тракторів та вантажних автомобілів або їх відсутність;

- засобів доступу на робочі місця і до місць обслуговування;

- інструменту, пристроїв, тари тощо;

в) недотримання встановлених термінів випробування підіймально-транспортних механізмів;

г) не огорожено робочі місця на висоті (понад 1,3 м);

г) недостатня освітленість робочих місць;

д) захащеність та незадовільний стан робочих місць і майданчиків

е) зіскакування працівників з рухомого посівного агрегату та піднімання на нього під час руху.

Мінімізувати виробничі ризики під час механізованого збирання буряків можна дотриманням встановлених вимог охорони праці.

Роботи із збирання цукрових буряків потрібно виконувати згідно з технологічними картами. Режими виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків мають забезпечувати: погодженість роботи комбайнів (машинно-тракторних агрегатів, вантажних автомобілів); завантаження комбайнів (машинно-тракторних агрегатів, вантажних автомобілів) відповідно до їхньої продуктивності.

Заборонено:

- перебувати на вантажних автомобілях, тракторних причепах під час завантажування і транспортування гички або коренеплодів цукрових буряків;

- підштовхувати транспортні засоби та бурякозбиральні агрегати, що забуксували на полі чи дорозі;

- сидіти (стояти) на рамі або інших частинах бурякозбиральних машин під час їх роботи;

- перебувати попереду і позаду гичкозбиральної машини, а також у площині обертання ротора;

- замінювати ножі та диски зрізувальних і обрізувальних меха-

нізмів, встановлювати зазори між дисками копачів та зазори у конічних підшипниках копачів без рукавиць.

Безпечний інтервал між збиральним агрегатом (комбайном) та транспортним засобом, який завантажують, має становити не менше 1,5–2,0 м. Рештки коренеплодів, що залишилися після того, як транспортний засіб розвантажили, потрібно прибирати скребком або лопатою з подовженим держакон, не піднімаючись у кузов.

Під час розвертання агрегату швидкість руху не повинна перевищувати 4 км/год, а на схилах – 3 км/год.

Межу поля з боку ярів відокремлюють контрольною борозною на відстані не менше 10 м від краю.

Перед початком руху бурякозбирального комбайна необхідно:

- впевнитися, що всі щитки та дверцята бурякозбирального комбайна встановлено на штатні місця, обертові частини трансмісії закрито захисними кожухами;

- пересвідчитися у справності фар, показчиків поворотів, габаритних вогнів, у достатній гучності звукового сигналу (рівень звукового сигналу повинен бути на 8 дБа вище рівня зовнішнього шуму комбайна на відстані 1 м від кабіни), відсутності пошкоджень підніжки та поручнів;

- перевірити ступінь затягнення болтів кріплення коліс;
- перевірити ефективність спрацьовування гальмівної системи;
- упевнитися у надійному фіксуванні у встановленому положенні сидіння в кабіні бурякозбирального комбайна, у правильному розташуванні дзеркала заднього виду.

Заборонено експлуатувати бурякозбиральний комбайн у разі суттєвих порушень протектора коліс.

Висновок. Керівники господарств мають звернути особливу увагу на забезпечення нормативних умов праці на механізованих процесах збирання цукрових буряків, як робіт з підвищеною небезпекою. Створення небезпечних ситуацій під час збирання цукрових буряків потрібно розглядати як поєднання небезпечних умов та небезпечних дій з врахуванням значущості виробничих ризиків.

Список літератури

1. НПАОП 01.0-1.01-12. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві / Затверджено наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26.11.2012 р. № 1353 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 14.12.2012 р. за № 2075/22387 (розділ V «Вимоги щодо безпеки під час одержання продукції рослинництва»).
2. Методичні рекомендації щодо попередження виробничого травматизму та професійних захворювань під час роботи на зарубіжній та вітчизняній сільськогосподарській техніці з урахуванням професійних ризиків / Затверджено наказом

Міністерства аграрної політики та продовольства України від 13.12.2012 р. № 768.

3. *ПІ 2.0.00-081-1999*. Примірні інструкція з охорони праці під час виконання ручних робіт у рослинництві / Затверджено наказом Мінагропрому України 15.12.1999 р. № 368.

4. *ПІ 2.0.00-013-1999*. Примірні інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва / Затверджена наказом Мінагропрому України 05.03.1999 р. № 110.

5. *Камінський В.Ф.* Концептуальні підходи до побудови системи управління охороною праці та ризиком на підприємствах агропромислового комплексу / *В.Ф. Камінський, О.В. Войналович, В.М. Лапін, О.А. Гнатюк* // Вісник аграрної науки. – 2014. – № 7. – С. 43–47.

6. *Войналович О.В.* Наукові засади розроблення класифікатора професійних ризиків на механізованих процесах у сільському господарстві / *О.В. Войналович, О.А. Гнатюк, В.П. Голод* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Вип. 97. – Т. 2. – Глеваха, 2013. – С. 58–65.

7. *Войналович О.В.* Актуальні задачі державного нагляду і контролю з охорони праці у сільському господарстві / *О.В. Войналович, І.М. Подобєд* // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІПБОП, 2011. – Вип. 21. – С. 137–143.

8. *Войналович О.В.* Концепція розроблення системи відстеження потенційних небезпек в АПК / *О.В. Войналович, В.О. Шеремет, М.О. Железняк* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 100–106.

9. *Дубровін В.О.* Професійний ризик на механізованих процесах в АПК та на прями його зниження / *В.О. Дубровін, О.В. Войналович, О.А. Гнатюк та ін.* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 13–19.

Проанализированы причины несчастных случаев на механизированных процессах уборки сахарной свеклы и систематизированы опасные и вредные производственные факторы, которые неблагоприятно влияют на работников. Предложены мероприятия для минимизации производственных рисков на рабочих местах механизаторов и вспомогательных работников.

Производственные риски, сахарная свекла, механизированная уборка, опасные производственные факторы, несчастные случаи.

The causes of accidents in mechanized processes of harvesting of sugar beet are analyzed and dangerous and harmful production factors that adversely affect on workers are systematized. The measures to minimize production risks in workplace of mechanics and support staff are proposed.

Operational risks, sugar beet, mechanized cleaning, dangerous production factors, accidents.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ, КОРМОЗБИРАЛЬНИХ І ПОСІВНИХ МАШИН

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

У статті розглянуто перспективні конструкційні матеріали та технології для зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин. Запропоновано новий метод зміцнення робочих органів, що забезпечує значне підвищення їх зносостійкості.

Леміш плугу, лапа культиватора, абразивне зношування, композиційні порошкові матеріали, шарова структура.

Постановка проблеми. Якість сільськогосподарських машин і знарядь визначається їх експлуатаційною надійністю і довговічністю. Проблема довговічності і надійності сільськогосподарських машин та тракторів тепер є однією з першорядних проблем у боротьбі за підвищення продуктивності машин і зниження собівартості одержуваної продукції. Сезонність сільськогосподарських робіт ставить особливі вимоги до надійності машин при їх експлуатації. Техніко-економічні показники багатьох сільськогосподарських машин все ще залишаються дуже низькими із-за малих термінів служби їх робочих органів та вимушених простоїв при періодичних замінах останніх, що вимагає значних витрат коштів на і запасні частини.

В першу чергу це стосується ґрунтообробних машин і знарядь, робочі органи яких працюють у важких польових умовах, при значних навантаженнях, вібраціях, ударах, перекосах. Швидке спрацювання лез лемішів і лап культиваторів призводить до зниження продуктивності агрегатів та якості виконуваних робіт і, зрештою, до підвищення собівартості сільськогосподарської продукції. У посушливих південних районах України леміші плугів і лапи культиваторів доводиться ремонтувати або замінювати щозміни [1]. Треба також відмітити, що різання ґрунту є найбільш розповсюдженою операцією у сільськогосподарському виробництві: оранка, культивація, боронування, збирання зернових і технічних культур, що складає не менш, як 70% всього об'єму механізованих робіт.

Аналіз останніх досліджень. При взаємодії з ґрунтом робочі органи ґрунтообробних і садильних машин зазнають інтенсивного абразивного зношування. Від технічного стану леза робочого органу сільськогосподарської машини залежать такі показники роботи, як

ступінь підрізання бур'янів, стійкість ходу робочих органів за глибиною, середня глибина культивуції, опір руху.

Крім того, робочі органи сільськогосподарських машин експлуатуються в умовах хімічно абразивного середовища, що зв'язано з додаванням в ґрунт різноманітних добрив та наявності в нього вологи. У сукупності ці фактори чинять настільки сильний вплив на робочі органи сільськогосподарських машин, що робить їх непридатними до експлуатації, практично через декілька годин інтенсивної роботи. Так, наприклад, до впровадження нових методів зміцнення, граничне затуплення ріжучих пар стригальних машинок нерідко відбувається через 1,5–2,0 години безперервної роботи, сегментів косарок 4–6 годин, лап культиваторів через 6–8 годин, після чого в польових умовах необхідно було загострювати леза [2]. Отже, завдання полягає в тому, щоб значно підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних та інших сільськогосподарських машин. У зв'язку з цим, підвищення зносостійкості робочих органів вітчизняного виробництва є актуальною проблемою для виробників і споживачів, тому що ресурс роботи більшості елементів сільськогосподарської техніки нижче закордонних аналогів у 1,5–2,0 рази.

Процеси зношування металів при взаємодії з абразивними середовищами є предметом дослідження багатьох авторів і творчих колективів як у нашій країні, так і за кордоном. Ряд дослідників [3,4,5] вважають, що механізм абразивного зношування є простим, і полягає в нанесенні на поверхню тертя великої кількості мілких подряпин. І.В. Крагельський розрізняє три види зношування: при пружному контакті, пластичному відтисненні та мікрорізанні [6]. П.Н. Львов [7] вважає, що зношування абразивними частками відбувається за рахунок пластичних деформацій поверхневих шарів металу. При цьому відмічає, що поверхневий шар, видавлений у валики по краям подряпини, перетворюється у крихкий стан.

Б.І. Костецький стверджує, що за малої різниці твердості металу і абразиву, зношування поверхонь (тертя по ґрунту), можливе за рахунок утворення і руйнування оксидних плівок, але і в цьому випадку ведучим процесом є пластична деформація. В нормальних умовах експлуатації зношування ріжучих елементів ґрунтообробних машин відбувається шляхом пластичної деформації, активізації поверхневого шару металу і взаємодії його з активними компонентами середовища, утворення вторинних послаблених структур та їх руйнування [8, 9]. Методи підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин, що використовуються при їх виготовленні можливо розділити на наступні основні групи: зміна хімічного стану і властивостей матеріалу; термічна обробка, поверхнєве хіміко-термічне зміцнення; наплавлення твердими сплавами.

Створено спеціалізовані підприємства, багато фірм, котрі займаються випуском тільки робочих органів.

В якості прикладів наведемо фірми La Pina, Bellota (Іспанія), Fordes de Niawx (Франція), Land (США). Машинобудівні заводи Німеччини виготовляють близько 30 типів лемішів для задоволення фермерів, які експлуатують плуги в різних кліматичних зонах. На леміші оборотних плугів Rabe, Німеччина наноситься твердосплавне покриття (Plasmabid), що суттєво збільшує терміни їх експлуатації.

Компанія Bellota (Іспанія) не тільки являється основним виробником дисків борін з боромісткої сталі. Тут застосовуються найсуворіший контроль якості, котрий гарантує повну однорідність дисків, що забезпечує якісне виконання польових робіт. Твердість поверхонь тертя забезпечує пружність і міцність, необхідні для поглинання ударів без пошкодження диска, і стійкість перед найбільш абразивними ґрунтами. Підприємство «Велес-Агро-ЛТД» є одним з перших виготовлювачів на території країн СНД, котре освоїло виготовлення запасних частин з використанням легованої сталі. Виготовлені за даною технологією деталі ґрунтообробних машин (леміші, лапи, диски) з твердістю поверхні до 50 одиниць дозволяє збільшити ресурс роботи деталей втричі у порівнянні з деталями, що виготовляються зі сталі 65Г.

Так одним з способів досягнення високої зносостійкості є застосування твердих сплавів. Тверді сплави все частіше використовуються у якості конструкційного матеріалу спрацьованих деталей вузлів тертя і ріжучого інструмента. Вони складаються з карбідів і зв'язуючої фази та виготовляються методами порошкової металургії. Наявність в наплавленому шарі карбідів тугоплавких металів (TiC, NbC, VC, WC, MoC) підвищує твердість і зносостійкість метала, що у свою чергу збільшує термін служби роботи робочих органів сільгосптехніки. Наприклад, карбід титана володіє найбільш високою температурою плавлення, а також твердістю з всіх широко застосованих для легованих карбідів тугоплавких металів. Крім того, структура наплавленого метала при комплексному засобі легування готувим з'єднанням карбиду титана, забезпечує високу зносостійкість і твердість сплаву, що дає можливість багатократного збільшення терміну служби виробів.

У зв'язку з цим, одним з головних завдань по створенню нових зварювальних матеріалів для дугового наплавлення, яка володіє високими фізико-механічними і технологічними властивостями є розробка спеціальних порошкових матеріалів (у тому числі і порошкових електродів), а також економічних і екологічно чистих технологій їх отримання.

В процесі відновлення зношених деталей число виробничих операцій скорочується в 5–8 разів у зрівнянні з виготовленням нових деталей. При цьому довговічність виготовлених деталей може досягати рівня нових, а собівартість їх складає 40–70% від вартості нових деталей.

Мета досліджень. Розробка конструкцій ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин, матеріали і технології їх зміцнення та виготовлення зносостійких деталей робочих органів ґрунтообробних, кормозбиральних і садильних машин.

Результати досліджень. Технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей машин, забезпечуючи зміну їх механічних і фізико-хімічних властивостей, відіграють важливу роль у підвищенні зносостійкості і довговічності деталей машин. Використання різних методів зміцнення у поєднанні з конструктивними засобами дозволяє створити при роботі пар тертя такі умови, за яких утворюється явище структурного пристосування матеріалів при терті, що обумовлює динамічну рівновагу і саморегулювання процесів активації і пасивації поверхневих шарів [10].

Оптимізація цих процесів, в результаті використання різних методів зміцнення, дозволяє досягти оптимального співвідношення між інтенсивністю утворення і руйнування вторинних структур (різного роду оксидних плівок), і в широкому діапазоні умов роботи пар тертя, усунути перешкоди, що визивають гальмування цих процесів [11]. Дослідження мікроструктури поверхневих шарів вторинних структур, які утворюються в процесі тертя конструкційних матеріалів показало, що для кожного виду зміцнення характерно розвиток процесів тертя, що суттєво відрізняються одне від одного. Підвищення зносостійкості в результаті використання методів зміцнення досягається в результаті збільшення твердості та зниження пластичності поверхнього шару, а в деяких випадках – за рахунок зміни фазового і хімічного складу цього шару.

Створення захисних структур на робочих поверхнях деталей машин і механізмів дає змогу підвищити їх надійність і довговічність, продуктивність праці, зменшити витрату чорних і кольорових металів, і як результат-заощадити величезні матеріальні, енергетичні й трудові ресурси. Упровадженню у виробництво технологічних методів, що забезпечують одержання зносостійких структур, передують моделювання роботи вузлів тертя, установлення впливу зовнішніх чинників на його працездатність, вивчення процесів, які розвиваються на поверхнях тертя, зміцнених досліджуваними покриттями.

Нанесення покриттів забезпечує міцність ріжучої кромки леза робочого органу, ефективно виведення тепла із зони різання, демпфірування та зменшення вібраційних явищ, причому карбідні покрит-

тя мають більшу ефективність, ніж нітриди. Одним із ефективних методів досягнення високої зносостійкості є використання твердих сплавів, наприклад карбідів тугоплавких металів. Крім того, зносостійкість наплавочних матеріалів суттєво залежить від типу і кількості карбідної фази у сплавах. Частіше всього зміцнюючі фаза повинна мати такі карбіди: Fe_3C ; Mn_3C ; Cr_7C_3 ; W_2C ; WC ; VC ; TiC ; B_4C ; Mo_2C , та інші, а також карбоборіди, нітриди заліза і легуючі елементи. В теперішній час, у вузлах тертя машин використовують металеві, неметалеві і композиційні матеріали, монолітні і поруваті, що мають гомогенну, так і гетерогенну структуру. Ці матеріали отримують методами литва, порошкової металургії, наплавлення, напилювання. В матеріалах, отриманих методами порошкової металургії, міцність досягається як за рахунок гетерогенності структури, так і шляхом отримання оптимальної поруватості.

Методи порошкової металургії дозволяють синтезувати матеріали, різними за складом, структурою, функціональними властивостями і економічністю, що відкриває широкі можливості для їх використання у вузлах тертя машин. В цілому, конструкційна міцність матеріалів досягається при оптимальному поєднанні об'ємних характеристик твердості, ударної в'язкості, меж міцності, плинності і втоми. Сплави на основі карбіду хрому з нікелевою (КХН) і нікель фосфорною (КХНФ) зв'язками відрізняються комплексом функціональних властивостей, що дає можливість ефективно використовувати їх для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя, абразивного зношування, агресивного хімічного середовища і високих температур [12].

З матеріалів VIII групи періодичної системи елементів, широко використаних у якості цементуючих зв'язок при отриманні твердих сплавів, найбільш дешевим і недефіцитним є залізо. Характеристики міцності порошкових композиційних матеріалів підвищуються при легуванні залізної основи сплаву. Однією з найпоширеніших легуючих добавок є хром. Вироби з карбідо хромових сплавів одержують із суміші порошоків карбіду хрому Cr_3C_2 і нікелю пресуванням і спіканням у захисному середовищі при температурі вище 1200°C . Вміст нікелю може становити 5–40%. Для деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, вибираємо з малим вмістом нікелю, які забезпечують високу твердість і стійкість проти спрацювання.

Таким чином, для покриттів, призначених для нанесення на поверхні тертя робочих органів, важливо не тільки склад, структура, фізико-механічні властивості, але і тривалість роботи покриттів на контактних ділянках до моменту їх руйнування (довговічність в процесі виробничої експлуатації). Інтенсивність зношування і макро руйнування залежить від твердості покриття відповідного співвідношен-

ня між в'язкістю і твердістю, міцності адгезії між шарами. Треба відмітити, що для композиційних нанопокриттів між фазові і границі між зернами є ділянкою інтенсивної дисипації енергії та відхилення тріщин від напрямку руху, часткового або повного їх гальмування, що призводить до зміцнення поверхні. Тому покриття з нанорозмірною структурою і багатошаровою конструкцією мають суттєво більш довготривалий термін роботи до руйнування. Більш перспективними є шарові композиційні матеріали, що виготовляються методами порошкової металургії. В цьому випадку не має чіткої межі розділу між робочим шаром і основою (рис. 1). В нашій роботі розроблено композиційні порошкові матеріали з порошкових сумішей КХЖ50 і КХЖ85 і ножі подрібнюючого барабану кормозбирального комбайну КПІ-2,4. Виробничі випробування показали, що виготовлення робочих органів кормозбиральних машин (рис. 2) з шаровою робочою частиною КХНФ15 забезпечує ефект самозагострювання за рахунок регулюючої різниці та зносостійкості робочих граней і серцевини (табл. 1).

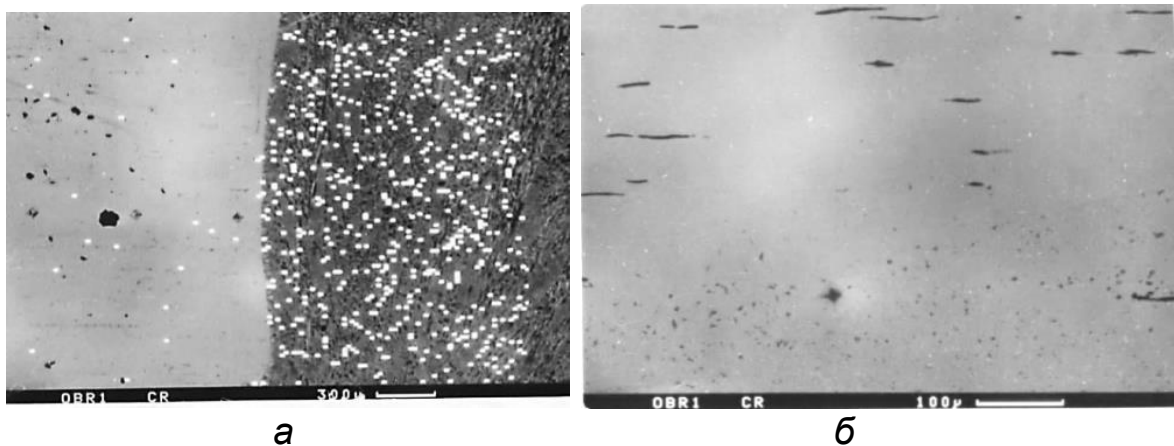


Рис. 1. Глибина проникнення хрому на межі розділу (покриття-основа): а – сталь 65Г після СВЧ; б – композиційний матеріал КХЖ-50, x1000.

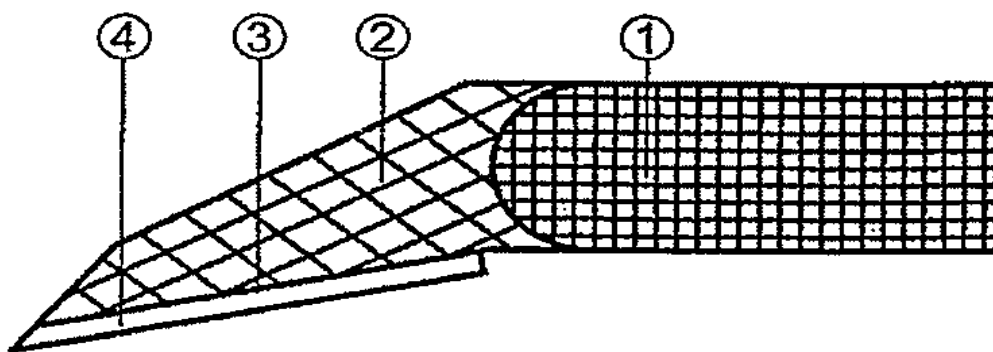
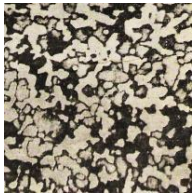
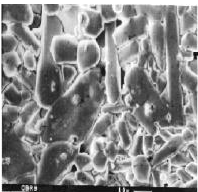


Рис. 2. Оригінальний ніж подрібнювача кормозбирального комбайну.

1. Схема виготовлення ножа подрібнюючого барабану

№	Найменування	Особливі властивості	Користь для споживача	Знімок під мікроскопом
1.	Основа ножа	на ньому розташована ріжуча зона; володіє максимальною в'язкістю, оскільки складається з високоміцної покращеної ножової сталі, яка пройшла багатократну термічну обробку	більш високий ресурс, менше ризик поломки	
2.	Ріжуча зона	утворює ріжучу кромку ножа і несе на собі твердосплавне покриття; піддана гарту струмами високої частоти з метою досягнення оптимальної твердості леза при збереженні його максимально можливий в'язкості	зниження витрат на загострювання	
3.	Зона зв'язку покриття з основою	вільний від пор і дуже тонкий зв'язуючий шар (матриця) сполучає твердосплавне карбідне покриття із загартованими матеріалами основи	перешкоджає відшаровуванню окремих фрагментів покриття	
4.	Карбідне покриття з втіленим в нього твердосплавним матеріалом	захищає ріжучу кромку від зносу і утворює нарощену зону ножового леза; забезпечує «ефект самозагострювання»	скорочення витрат часу на заточку при зберіганні точного різь	

Співставлення властивостей сплавів карбід хрому-залізо і карбід хрому-нікель показує, що для досягнення однакових значень твердості, міцності при згині і ударної в'язкості, масова частка карбіду хрому у сплавах з залізною зв'язкою повинна бути у 1,5–2 рази нижче, ніж у сплавах з нікелевою.

Взаємодію титану з карбідом хрому при спіканні досліджували в роботі [13], автори якої встановили, що у спеченому матеріалі утворюється нова фаза-TiC. Розчинення карбіду хрому відбувається в інтервалі температур від 950 до 1250°С.

Для рішення даного питання була запропонована ідея використання в якості матриці матеріалу карбіду хрому з високими релаксаційними і демпфуючими властивостями, які проявляються в процесі навантаження деталі за рахунок структурно-фазових перетворень. Використання такого типу матричного матеріалу дозволяє використати в якості фази зміцнення карбід титану, і відмовитися від використання дефіцитного карбіду вольфраму.

При використанні у суміші з титаном частинок карбіду хрому (частинки менше 20 мкм), в цьому ж інтервалі температур проходить дисоціація карбіду хрому і утворення карбіду титану в місцях концентрації вуглецю. Для утворення карбіду титану наявність пори не обов'язково.

Робочі органи сільськогосподарських машин крім інтенсивного абразивного зношування зазнають корозійних пошкоджень, що зв'язано з їх експлуатацією у ґрунті. Тому, одним з перспективних напрямків дослідження матеріалів є математичне моделювання наночастинок та їх взаємодій. Для багаточастинових покриттів, що складаються з фаз і компонентів, побудова фазових діаграм дозволяє встановити скільки фаз, і які конкретно фази утворюють систему при даних значеннях параметрів стану. Аналіз відносного розташування об'ємних ділянок, поверхонь, ліній і точок, котрі утворюють діаграму стану, дозволяє однозначно визначити умови фазової рівноваги, появи в системі нових фаз і хімічних з'єднань, утворення і розпаду структур.

Другий важливий момент при дослідженні покриттів, є моделювання контактних процесів на границі підкладка-покриття. Для створення захисних покриттів трибо технічного призначення тепер застосовують різні хімічні, фізичні та фізико-хімічні методи, що дають змогу утворювати на робочих поверхнях деталей машин структури із заздалегідь заданими властивостями.

Традиційні методи нанесення покриттів дедалі менше задовольняють підвищені вимоги до матеріалів для експлуатації в умовах динамічних навантажень, дії агресивних середовищ і абразивних потоків.

Висновки

1. Одним із методів підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин є використання шарових композиційних матеріалів, отриманих методами порошкової металургії.

2. На формування структурно-фазового складу і властивостей шарового композиційного матеріалу чинять вплив вуглець і хром. Співвідношення концентрації хрому і вуглецю визначає тип карбідної фази.

Список літератури

1. Канівець І.Д. Підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / І.Д. Канівець. – Дніпропетровськ: Промінь, 1968. – 62 с.
2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 263 с.
3. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
4. Хрущов М.М. Исследование изнашивания металлов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 264 с.
5. Хрущов М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию структурно-неоднородных материалов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Изд. АН СССР, Трение и износ в машинах. – Вып. XII. – 1958. – С. 124–132.
6. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машгиз, 1962. – 240 с.
7. Львов П.Н. Износостойкость деталей строительных и дорожных машин / П.Н. Львов. – М.: Машгиз, 1962. – 280 с.
8. Костецкий Б. Нормальное трение и явления повреждаемости в машинах / Б. Костецкий, Л. Бершадский. – М.: Машиностроение, 1970. – 340 с.
9. Костецкий Б. Экспериментальное исследование физической модели нормального изнашивания металлов / Б. Костецкий, Л. Бершадский // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1972. – Вып. 2. – С. 12–19.
10. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б.И. Костецкий. – М.-К.: Машгиз, 1959. – 476 с.
11. Надежность и долговечность машин / [Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов]. – К.: Техника, 1975. – 408 с.
12. Клименко В.Н. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / В.Н. Клименко, В.А. Маслюк, Ю.В. Самброс // Порошковая металлургия. – 1986. – №8. – С. 39–44.
13. Власюк Р. О структурообразовании при спекании композиции Ti-карбид хрома / Р. Власюк, И. Радомысльский // Порошковая металлургия. – 1977. – №11. – С. 22–25.

В статье рассмотрены перспективные конструкционные материалы для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин. Предложен новый перспективный метод упрочнения рабочих органов, обеспечивающий значительное повышение их износостойкости.

Лемех плуга, лапа культиватора, абразивное изнашивание, композиционные порошковые материалы, сфероидальная структура.

In paper perspective composite materials, effective for hardening of working bodies of the cars working in the abrasive environment are considered. The new perspective method of hardening of working bodies, providing substantial increase of its wear resistance is offered.

Plow ploughshare, cultivator paw, abrasive wear, composite powder materials, spheroidal structure.

ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У РОСЛИННИЦТВІ

***В.Г. Мироненко, доктор технічних наук
Національний науковий центр «Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства»
О.О. Броварець, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

Формалізовані основні положення та визначено техніко-економічні показники застосування інтегрованих систем автоматичного управління технологічними процесами для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві.

Агротехнології, точне землеробство, засоби автоматизації, сенсор, система моніторингу, оперативне керування.

Постановка проблеми. В даний час досягти істотного підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва можливо за рахунок підвищення якості виконання технологічних операцій, шляхом оперативного та ціленаправленого керування якістю виконання технологічних операцій у рослинництві. Важливе значення має рівень інтеграції систем автоматичного управління з інформаційно-технічними системами, у тому числі засобами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь для визначення ціленаправленої дії.

Нова техніка в передових країнах світу сьогодні практично не випускається без тих чи інших засобів оперативного (автоматизованого) контролю та управління технологічними операціями у рослинництві, а в деяких країнах інтенсивно закладаються основи екологічного та точного землеробства.

Аналіз останніх досліджень. На основі попередніх досліджень і проведеного огляду літературних джерел [1–5] визначено існуючі методи і технічні засоби, які впливають на якість виконання технологічних процесів у сучасних технологіях рослинництва; обґрунтовано доцільність застосування комплексів технічних засобів для ціленаправленої дії на ґрунтове середовище робочих органів сучасних сільськогосподарських машин; розроблено математичний апарат для реалізації запропонованих технологій.

Технічна суть реалізації новітніх технологій рослинництва пов'язана з принципово новим рівнем одержання інформації про

© В.Г. Мироненко, О.О. Броварець, 2015

параметри агробіологічного та фітосанітарного стану сільськогосподарських угідь та оперативним прийняттям оптимальних рішень по управлінню технологічними процесами у рослинництві [2, 3, 5].

Мета досліджень. Формалізувати основні положення та визначити техніко-економічні показники застосування інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві.

Результати досліджень. Аналіз можливих шляхів подальшого підвищення ефективності рослинництва вказує на перспективність впровадження новітніх технологій на основі керованого розвитку рослин [1]. У даному випадку мова йде про необхідність керованого переведення умов одержання урожаю з одного дійсного багатofакторного фазового стану в інший визначений стан у процесі виконання будь-якої технологічної операції. Вирішення такої задачі потребує наступних дій: отримання інформації про стан об'єкта керованого впливу (ґрунт, рослина, шкідники, бур'яни) за основним і додатковими параметрами; визначення вектору зміни фазового стану контрольованої точки з врахуванням факторів зовнішнього впливу; формалізація параметрів бажаного стану об'єкта керування; розробка алгоритму оптимального керування процесом переходу об'єкта в заданий фазовий стан; реалізація заданого алгоритму виконання технологічного процесу.

Очевидно, що сучасні системи „людина – машина – поле” не можуть забезпечити виконання поставленої задачі і потребують створення техніки п'ятого технологічного рівня, який передбачає насичення техніки засобами інформатизації, комп'ютеризації та електротехніки, систем з керованою якістю виконання технологічних процесів.

Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів у рослинництві (моніторингу стану сільськогосподарських угідь та інформаційного забезпечення сільськогосподарського виробництва), а також підвищенням точності водіння і оперативного управління робочими органами машин.

Традиційно моніторинг угідь зводиться до аналізу проб ґрунту на хімічний склад та визначення властивостей ґрунту в лабораторних умовах [5], що забезпечує одержання лише часткових значень контрольованого процесу та ще й з істотною затримкою в часі.

Одним із шляхів підвищення ефективності моніторингу стану ґрунтів за традиційними технологіями є автоматизоване керування режимами відбору проб та аналізу їх хімічного складу, при цьому

поширення набуває використання сенсорних оптичних та електричних систем. Для дослідження електропровідних властивостей ґрунту використовують контактний-руйнівний та безконтактний спосіб моніторингу електропровідних властивостей ґрунту.

В табл. 1 приведені деякі системи моніторингу, що можуть бути використані для забезпечення належної якості виконання технологічних операцій.

1. Технології моніторингу в сучасних технологіях рослинництва.

Технологічний процес	Новітня технологія	Системи моніторингу
Внесення добрив	Локально-дозоване внесення добрив	Технічні системи моніторингу електропровідних властивостей ґрунту, спектрометричний моніторинг
Обробіток ґрунту	Технологія Strip-Till	Моніторинг глибини обробітку, режими роботи робочих органів сільськогосподарської техніки, датчик вологості ґрунту, датчик щільності ґрунту
Посів	Диференційована сівба сільськогосподарських культур	Технічні системи моніторингу електропровідних властивостей ґрунту, спектрометричний моніторинг
Внесення хімічних препаратів	Локально-дозоване внесення хімічних препаратів	Системи технічного огляду
Збір урожаю	Моніторинг урожайності	Об'ємні датчики зерна, датчик вологості

Суттєве покращення ефективності рослинництва може бути досягнуто при переході від суцільного до локально-дозованого або диференційованого обробітку ґрунту і рослин. При цьому кожна технологічна операція виконується згідно оперативно отриманої інформації (в режимі on-line, коли дані збираються одночасно з виконанням технологічної операції), або відповідної програми (в режимі off-line, яка розробляється попередньо на основі різнопланової інформації).

На сьогодні відпрацьовані та можуть бути використані як складові комплексних систем забезпечення належної якості виконання технологічних операцій у рослинництві цілий ряд систем і технічних засобів [1–5].

Системи точного позиціонування агрегату на полі. Система позиціонування включає антену-приймач глобальних позиційних систем GPS (США) і ГЛОНАСС (Росія), яка встановлюється на агрегат і

пеленгує сигнали з супутників, що знаходяться в зоні прийому. Точність визначення місцезнаходження об'єкта знаходиться в діапазоні від декількох метрів до одного сантиметра. Приклади приладів позиціонування агрегатів на полі, які найбільш часто використовуються на території України, приведені в табл. 2.

2. Прилади позиціонування агрегатів на полі.

№	Марка	Коротка характеристика
1.	Приймач GPS 252	Точність позиціонування 3-30 см, двохчастотний режим
2.	Приймач AG GPS 332	Використовується на будь-яких сільськогосподарських операціях. Вмонтовується в кабіні. Точність регулюється
3.	Agronov «Grotec»	Точність позиціонування ± 10 см. Складається з GPS-приймача і терміналу
4.	Приймач StarFire іТС фірми «John Deere»	Сумісний з сигналами: SF1, SF2, EGNOS

Автоматичні ґрунтопробовідбирачі. Переваги використання автоматичних ґрунтопробовідбирачів показані в табл. 3, а характеристики в табл. 4. Для автоматизованого взяття ґрунтових зразків ґрунтопробовідбирачі монтуються на різних енергетичних засобах. За результатами аналізу відібраних проб розробляється карта розподілу речовин по полю. Такі карти використовуються для створення технологічних карт диференційованого внесення технологічних матеріалів і ухвалення управлінських рішень.

3. Порівняльна таблиця операцій взяття ґрунтових проб і внесення добрив в традиційній і новітній системах землеробства.

№	Операція	Традиційне землеробство	Точне землеробство
1.	Загальна ґрунтова проба на аналіз	Відбирається з 5-20 га	Відбирається з 1-5 га
2.	Відбір проб	Ручним буром	Автоматичним ґрунтопробовідбирачем
3.	Картографічна основа	Ґрунтова карта і план землекористування	Електронна ґрунтова карта, космічні знімки з географічною прив'язкою
4.	Місце відбору проб	Визначається вішками, теодолітом, місце відбору точно не фіксується	Визначається системою глобального позиціонування. Місце відбору фіксується з точністю 30 см
5.	Складання картограм	Вручну	За допомогою програмного забезпечення

Продовження табл. 3

№	Операція	Традиційне землеробство	Точне землеробство
6.	Розрахунок дози добрив	По середньому значенню для всіх полів, вручну	Диференційований для кожної ділянки поля, автоматично за програмою
7.	Внесення добрив	На полі створюються ділянки з надмірним і недостатнім змістом живильних речовин	Кожна ділянка поля удобрена по потребі, згідно картограми

4. Автоматичні ґрунтопробовідбирачі.

№	Фірма-виробник найменування	Глибина узяття проб, см	Характеристика
1.	Нітфельд Duohrob-60 універсальний	0–30 30–60	Встановлюється на трактор, автомобіль-пікап, автопричіп. Оснащений GPS-приймачем. Програмне забезпечення: «Геоплан» або КБ «Панорама». Час узяття проби 20-25 секунд. Оснащений польовим ноутбуком
2.	Нітфельд MultiPROB 120	0–30 30–60 60–90	Розділяє проби на три горизонти. Встановлюється на квадрицикл. Програмне забезпечення: «Геоплан» або КБ «Панорама»
3.	Еміті Конкорд 9800A/Agricultural	0–122	Автоматично бере 10 проб. Час узяття однієї проби 25-30 секунд
4.	Fritzmeier	0–90	Повний автомат з точною прив'язкою до місцевості. Час узяття однієї проби – 15-20 секунд. Для складання ґрунтової карти використовується бортовий комп'ютер

Системи паралельного водіння (автопілотування). Інтегровані системи автопілотування вбудовуються в гідравлічну систему самохідної техніки. Спеціальний контролер приймає сигнали GPS/ГЛОНАСС-приймача і перетворює їх через додатковий гідравлічний (або електричний) контур у відповідні зміни руху агрегату. При цьому рух може бути прямо- або криволінійним. Перекриття і пропуски між сусідніми проходами зводяться до мінімуму (до 20 см), а при використуванні базових станцій RTK – до 5 см. Система забезпечує можливість працювати вночі, в умовах поганої видимості, знижує стомлюваність тракториста, підвищує продуктивність праці, зменшує витрати пального і технологічних матеріалів.

Характеристики ряду систем паралельного водіння самохідної сільськогосподарської техніки приведені в табл. 5.

Системи картографування врожайності. Підсумком роботи системи є детальна карта врожайності прибраного поля, де різними кольорами виділені зони (ділянки) з різною врожайністю. В табл. 6

приведені характеристики діючих систем картографування врожайності.

5. Системи паралельного водіння агрегатів.

№	Система паралельного водіння	Характеристика
1.	Ag GPS EZ – Guide Plus	Точність водіння від гону до гону 15–30 см. Поєднується з будь-яким трактором. Збільшує продуктивність на 13-20%
2.	Автопілот E-Drive	Точність проходження суміжних проходів 10 см. Дозволяє водити трактор на схилах. Встановлюється на будь-які імпорتنі трактори з гідропідсилювачем керма
3.	Trimble EZ-Guide 500 (OnPath b HP XP)	Точність водіння 7–25 см. Антена діапазону L1/L2. Відстежує огріхи, вимірює площу поля. Підключається до підрулюючого пристрою Trimble EZ-Steer
4.	Auto Track Universal фірма «John Deere»	Комплект універсальний: встановлюється на будь-які машини. Є функції автопілотування і корекції положення на схилах. Працює з системою Green Star

6. Системи картографування врожайності.

№	Позначення (марка) системи	Характеристики
1.	Грінстар™ Харвест Док	Склад для комбайна «John Deere»: навігаційна система StarFire (точність водіння 30 см); дисплей; процесор; ключова карта; датчики маси і вологості зерна; програма картографування врожайності; бортовий принтер; карта пам'яті HCMCJA
2.	Claas Lexion	Встановлена на комбайнах CLAAS. Система забезпечена багатофункціональним контролером
3.	Універсальна система картографування врожайності (Геомір)	Встановлюється на будь-які зернозбиральні комбайни. Визначає врожайність і вологість зерна з одиначної площі з урахуванням місцеположення комбайна і нерівностей поля
4.	Agrotronix S.A. Франція	Визначає врожайність і вологість зерна в режимі реального часу

Сенсорні датчики. Застосовуються різні типи і системи сенсорних датчиків (табл. 7), які встановлюються на агрегатах, що виконують, переважно, операції внесення рідких мінеральних добрив і засобів захисту рослин.

Створення систем з керованою якістю виконання технологічних процесів передбачає створення сільськогосподарської техніки нового покоління і полягає в доданні до базової структури системи „людина – машина – поле” контуру оперативного керування (рис. 1).

Додатковий контур оперативного керування повинен виконувати наступні функції: отримання поточної інформації про стан поля

$I_{pi}(t)$, режими роботи робочого органу $I_{mi}(t)$ і у процесі виконання технологічної операції; формування з отриманої інформації значення показника якості; порівняння дійсного показника якості $I_{Aj}(t)$ з бажаним (розрахованим) і обчислення на цій основі відповідної управляючої дії $U_{Ti}(t)$, або сигналу оператору на зміну параметрів робочого органу (управляючого пристрою) $U_{oi}(t)$ для досягнення бажаного показника якості.

7. Сенсорні датчики.

№	Марка, фірма-виробник	Характеристики
1.	Greenseeker Hundro Agri	Встановлюють на машини для внесення добрив з робочою шириною 18 м (30 датчиків з кроком 0,6 м). Вимірюють кількість відображеного від рослин світла в діапазоні 600–780 нм. Після обчислення на комп'ютері вегетаційного індексу подається певна доза робочої рідини через кожний жиклер певна порція. Добриво вносять локально
2.	Grop-Sensor Hundro Agri	Застосовують для дозованого внесення фунгіцидів і стимуляторів зростання на колосових культурах, щоб не вилягли. Спереду трактора кріпиться маятник, який вимірює силу опору рослин переміщенню і подає сигнал на внесення певної кількості рідини.
3.	YARA N-Sensor	Застосовують для визначення вмісту азоту в рослинах, відповідної азотного підживлення і внесення регуляторів росту рослин
4.	Agrocom VRA (Grop-Meter)	Система безперервно вимірює біомасу рослин і здійснює відповідне змінне дозування засобів захисту рослин по ходу руху агрегату

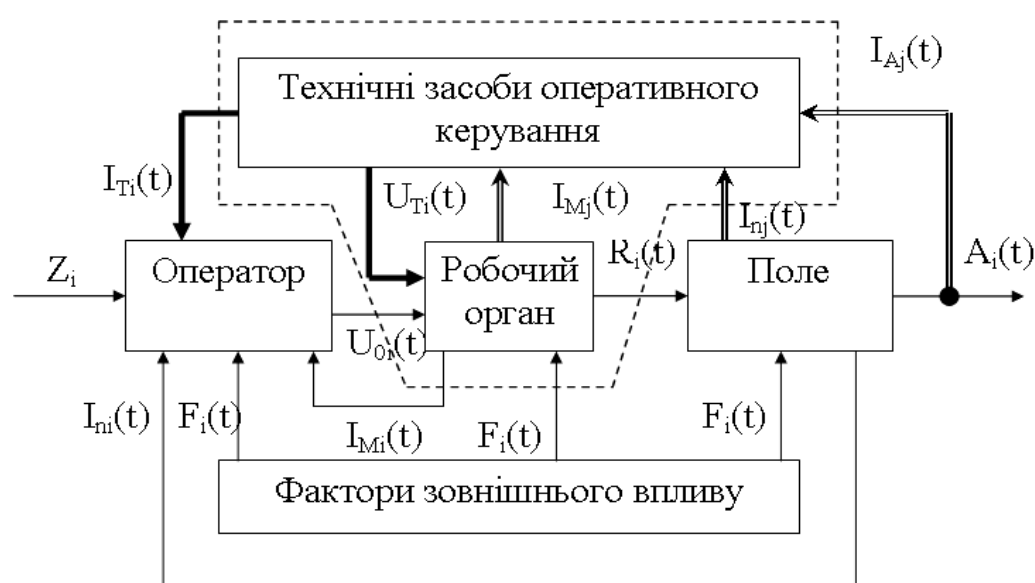


Рис. 1. Модель системи „людина – засоби оперативного керування – машина – поле” з керованою якістю роботи.

Задача синтезу системи з керованою якістю виконання технологічного процесу полягає у визначенні алгоритму функціонування керуючого пристрою, тобто його структури і параметрів, при відомих рівняннях роботи базової системи і характеристиках вхідних сигналів. При цьому оптимальне керування слід шукати не у формі $U = U(t)$, а у формі $U = V(x)$, тобто оптимальне керування у кожний момент залежить від того, у якій точці простору знаходиться в даний момент фазова точка об'єкта впливу. Якщо, наприклад, мова йде про внесення оптимальної дози добрив, то при формуванні керуючої дії необхідно враховувати не лише ефективну дію даної норми добрив на відповідну культуру на тому чи іншому полі, але і динаміку забезпечення ґрунту цими поживними елементами протягом певного часу кожної характерної ділянки цього поля.

8. Основні показники технологічних процесів і фактори керованого впливу на якість їх виконання.

Технологічний процес і його вагомість впливу на врожай	Показники якості	Основні фактори керованого впливу на ефективність технологічного процесу	Вагомість впливу факторів на якість виконання	Потенційно-можливий ефект
Внесення добрив 0,09	Норма внесення	Положення дозатора	0,37	Зменшення витрат добрив на 50-70%
	Рівномірність внесення	Напрямок руху МТА	0,32	
	Глибина обробітку	Частота обертання робочих органів	0,31	
Оранка 0,07	Заорювання	Положення робочих органів	0,51	Зменшення на 5-30% витрат паливного
	рослинних залишків	Напрямок руху агрегату	0,23	
	Глибина посіву	Положення робочих органів	0,24	
Посів 0,20	Норма висіву	Положення дозатора	0,45	Збільшення урожаю до 15%
	Прямолінійність рядків	Напрямок руху агрегату	0,09	
	Просіви	Відмови та порушення	0,22	
Внесення хімічних препаратів 0,09	Норма внесення	Положення дозатора	0,37	Зменшення загальних затрат на 10-30%
	Рівномірність внесення	Напрямок руху агрегату	0,32	
		Відмови та порушення	0,31	
Збір урожаю 0,22	Втрати та пошкодження	Відмови та порушення	0,73	Зменшення до 25% втрат зерна
		Напрямок руху комбайна	0,08	
		Положення робочих органів	0,16	

Відносно показника якості, що піддається керуванню, узагальнений об'єкт управління може бути описаний наступним рівнянням:

$$y^{(n)} + \sum_{i=0}^{n-1} a_i(t)y^{(i)} = \sum_{j=0}^m b_j(t)x^{(j)},$$

де: x – керуюча дія; y – вихідна координата показника якості; $a_i(t)$, $b_j(t)$ – перемінні у часі коефіцієнти.

В процесі проведених досліджень по створенню машин нового покоління [2] були отримані практичні результати (табл. 8) підвищення ефективності виконання технологічних операцій.

Отже, як видно з табл. 8, використання технічних систем моніторингу сільськогосподарських угідь при певній технологічній операції дає можливість забезпечити належної якості технологічні операції. Проте немає чітких рекомендацій та надійних датчиків для вимірювання агробіологічних партерів сільськогосподарських угідь при виконанні технологічних операцій та зв'язку між собою принципово різних систем моніторингу для їх подальшого використання у наступних технологічних операціях. Відсутні, а в багатьох випадках навіть не запропоновано принципи роботи систем для експрес-вимірювання багатьох специфічних агробіологічних параметрів для оперативного керування якістю виконання технологічної операції, а відповідно і ефективністю сільськогосподарського виробництва.

У відповідності до запропонованої моделі нами встановлено, що використання інтегрованих систем автоматичного управління виконанням технологічних процесів у рослинництві з керованою якістю виконання технологічних процесів для [2, 3]:

- обробітку ґрунту по спіралі без розриву технологічного процесу (за рахунок зміни ширини захвату плуга в залежності від зміни напрямку руху орного агрегату)- дає можливість підвищити продуктивність агрегату до 18%, зменшити витрати пального до 10% та зменшити негативний вплив ерозії ґрунту;

- висіву насіння зернових культур – проводиться без участі робітників – сівачів, а довжина просівів при забиванні сошників зменшується майже в 20 разів і не перевищує 5,9 м;

- внесення твердих мінеральних добрив (за рахунок стикування суміжних проходів широкозахватних агрегатів з точністю $\pm 0,4$ м, контролю рівномірності подачі добрив на робочі органи і контролю режимів їх роботи) похибка дозування може бути значно знижена відносно агротехнічних допусків для сучасних машин і становити 3–9%;

- збирання урожаю – контролюються відносні втрати зерна зернозбиральним комбайном, при цьому точність визначення втрат у порівнянні з визначенням абсолютних втрат підвищується до 30%.

Висновки

Досягти принципового збільшення виходу сільськогосподарської продукції з одиниці оброблюваної площі можна при упровадженні

нових прогресивних технологій виробництва на основі застосування машин нового покоління.

Забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів можливе за рахунок використання технічних засобів оперативного контролю технічного стану і робочих процесів машин (коефіцієнт вагомості 0,22–0,73), точності водіння мобільних агрегатів (0,08–0,32), оперативного керування робочими органами машин за раціональним алгоритмом (0,37–0,51).

Розроблені та досліджені зразки техніки нового покоління з керованою якістю виконання технологічних процесів дозволяють забезпечити збільшення продуктивності праці – до 20%, зменшення витрат паливного і технологічних матеріалів на 15–20%, одержати економічний ефект – понад 350 грн/га та зменшити шкідливий антропогенний вплив техніки на навколишнє середовище.

Список літератури

1. Адамчук В.В. Техніка для землеробства майбутнього / В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, В.І. Кравчук, Д.Г. Войтюк // Механізація та електрифікація сільськогосподарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип. 86. – С. 20–32.
2. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинності : монографія / В.Г. Мироненко. – К.: НАУ, 2005. – 202 с.
3. Броварець О.О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур / О.О. Броварець // Хранение и переработка зерна. – 2013. – № 6 (171). – С. 37–42.
4. Броварець О.О. Теоретичні основи визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища / О.О. Броварець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2014. – Вип. 196. – Ч. 1. – С. 287–296.
5. Броварець О.О. Прогностично-компенсаційна технологія змінних норм внесення технологічного матеріалу на основі уточнених даних ґрунту / О.О. Броварець // Сільськогосподарські машини. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. – Вип. 27. – С. 3–15.
6. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. Morari, F.1, Castrignanò, A.2 Pagliarin, C.1. Computers & Electronics in Agriculture; Aug. 2009, Vol. 68 Issue 1, P. 97–107.
7. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. Kitchen, N.R.1, kitchenn@missouri.edu, Sudduth K.A., Myers D.B., Drummond S.T., Hong S.Y. Computers & Electronics in Agriculture; Mar2005, Vol. 46 Issue 1-3, P. 285–308.
8. Olteanu C., Zamfira, S., Oltean Gh., Turcu, C., Olteanu, F. Designing and Implementing an Intelligent System for Measuring, Acquiring and Tracing Maps with Regard to Soil Electrical Conductivity Experimental Model. Acta Technica Napocensis, series: Applied Mathematics and Mechanics 45,3, 601-606 ISSN 1221-5872, Technical University of Cluj-Napoca, 7-9 July 2006.
9. Won I.J. and Haoping Huang. Magnetometers and electro-magnetometers. THE LEADING EDGE. May 2004. P. 26–29.

10. Hertz A. Chad and John D. Hibbard. "A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production," Farm Economics iss. 14, Department of Agricultural Economics, University of Illinois, Champaign-Urbana. – 1993. – P. 218–231.
11. *Applying* nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Lund ED ; Wolcott MC ; Hanson GP, Thescientificworldjournal [ScientificWorldJournal] 2001 Oct 16; Vol. 1 Suppl 2, pp. 767-76. Date of Electronic Publication: 2001 Oct 16.
12. *Small Scale Spatial Variability of Apparent Electrical Conductivity within a Paddy Field.* Aimrun, W.1, Amin, M. S. Ezrin, M. H., Applied & Environmental Soil Science; 2009, Vol. 2009, P. 1–7.

Формализованы основные положения и определены технико-экономические показатели применения интегрированных систем автоматизированного управления технологическими процессами для обеспечения надлежащего качества выполнения технологических операций в растениеводстве.

Агротехнологии, точное земледелие, средства автоматизации, сенсор, система мониторинга, оперативное управление.

Formalize guidelines and determine the technical and economic characteristics of integrated systems of automated control of technological processes to ensure the quality of performance of technological operations in crop production.

Agrotehnology, exact agriculture, facilities of automation, sensor, system of monitoring, operative management.

УДК 631.3:620.172

LEAKS AND CORROSION RESISTANCE COMPOUNDS USING IN ELIMINATING CRACKS

Sergey Karabinesh

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

The paper presents the methodology and results of comparative tests for leaks and corrosion resistance of joins used in elimination of cracks in cast iron body parts. Investigations were carried out to determine the necessary parameters using glue welding, welded and glued joints.

Glue welding, welding, adhesive compound, sealing, corrosion resistance, tests, studies, results.

© Sergey Karabinesh, 2015

Introduction. During operation, they are subjected to different loads, which appears as a result of a defect intractable as cracking, resulting in a loss of tightness, and as a result - contamination of lubricants abrasive particles and poor lubrication conditions [6, 9, 12]. Leakage of body parts also causes great damage to agriculture as well as spill oil and fuel materials lead to an annual yield loss [2, 5, 10].

When repairing cracks (their elimination) in cast iron body parts, special attention is paid to the creation of a dense and tight connection [14, 17, 18]. This is achieved by using gaskets, seals, sealants, composite compounds and applying welds adhesive compounds [1, 3, 4, 8]. The problem of creating connections that can effectively recover from cast iron parts paid: Paton E.B., Lobanov L.M., Belyiv I.P., Vavilov V.P., V.P. Lyalyakin, Dorofeev A.L., Kluev V.V. Molodik N.V., Tel'nov N.F., Selivanov A.I., Artemyev Y.N. [9, 11, 14] et ct.

Among the range of recoverable parts occupy an important place items made of cast iron with lamellar graphite. They make up about 70% of the total mass of parts of agricultural machinery. The analysis showed that there is no agricultural machine, which would not have cast iron parts. The percentage of such products in a proportion for different units of agricultural machinery is 3,5...45%. And in most cases they determine the life of the machine. This applies in particular to the case details, the percentage of which is from 1,7...24% [11, 17, 19].

These products are characterized by a large diversity: mass, complex geometry, volume, working conditions and the price of a few to several thousand rubles.

Numerous details of gray cast iron is due to several factors: technological material (good casting properties and machinability), performance characteristics and sufficient reliability.

Research aim. A comparative study for leaks and corrosion resistance glue welding welded and glued joints and identify possible areas for their use in the removal of cracks in the hull iron details.

Results and discussion. To obtain objective data on the tightness of joints carried out comprehensive studies including: testing of samples in the laboratory bench and operational recovered body parts [7, 13, 19]. Tests were conducted on the hollow cylindrical samples with a diameter of 150 mm. In this case, the crack imitated 4 drilled through holes with a diameter of 4 mm.

In the welded joint decompression occurred at an overpressure of 0,3 mPa through 0.36 hours after application of the load pressure of the liquid. This indicates the need for the sealing layers. Adhesive collapsed at a pressure of 0,4 mPa. Tests were carried out according to the scheme: loading at each stage discretely increased to 1,0 MPa, delayed 0,5 hours.

The tests showed that fluid leakage when using glue welding joints did not happen at all of this work. As expected, the use of an adhesive layer in such a compound ensures perfect seal while eliminating cracks.

Stand for testing leak tests recovered using glue welding cast iron parts in a specialized workshop. Reconditioned gearbox housing in the amount of 10 pieces were mounted on the stand break-after full cure of the adhesive composition [20]. Tests were carried out on the stand-by cycle for 2,0 hours. Depressurization join did not happen. Past bench tests, parts have been installed on the machine, which was sent to the service. During the 10 months of observation were behind them. Machinery (tractor T-150 K) operated under different conditions, according to the regulations on energy-performance test machines.

In operation failure due to depressurization of the plot to eliminate cracks were found. Currently, these parts are further performance tests.

In accordance with the established methodology, conducted the study to the effects of corrosive environments of fuel and oil. Each batch of samples (glue, glue welding and welded joints) was aged for 30, 60 and 90 days. The exposure was performed in: air, 3% solution of salt, water, oil and diesel fuel. Based on the results of experimental studies determined the amount of softening of each of them.

It is established that a greater reduction in strength occurs in 3% aqueous NaCl solution. This environment has the greatest softening effect on the compared connection. As shown by the research results, glue welding has better resistance to softening the effects of the corrosive environment, and the adhesive is the smallest. During 30, 60 and 90 day strength glue welding reduced, respectively: 1,5%, 2,7% and 3,7%; welded – 3,9%, 7,7% and 9,2% adhesive to 8,0%, 14,0% and 18,0% were.

The magnitude of strength loss glue welding connection associated correlation relationship for all kinds of tests in the test environments. This confirms the assertion that reducing their strength is associated only with the defeat of the edge zones of the adhesive layer. The presence of the adhesive layer protects the weld point from damage by corrosion. Its absence in welding connection increases its loss of strength in comparison with glue welding.

Studies have shown high corrosivity of the water, however, the salt solution causes more destruction. In real operating conditions, the external environment is composed of a pair of various salts, dissociation which ions makes them aggressive and corrosive. Therefore, it is of great scientific interest of reducing the strength of the connections after holding them in the air. Studies have shown that glue welding connection has sufficient protection against the action of the atmosphere.

Test joints after exposure to diesel fuel and mineral oil showed that softening under their influence does not occur. In process of experiments, we studied the nature of reduction strength of every of them (Fig. 1).

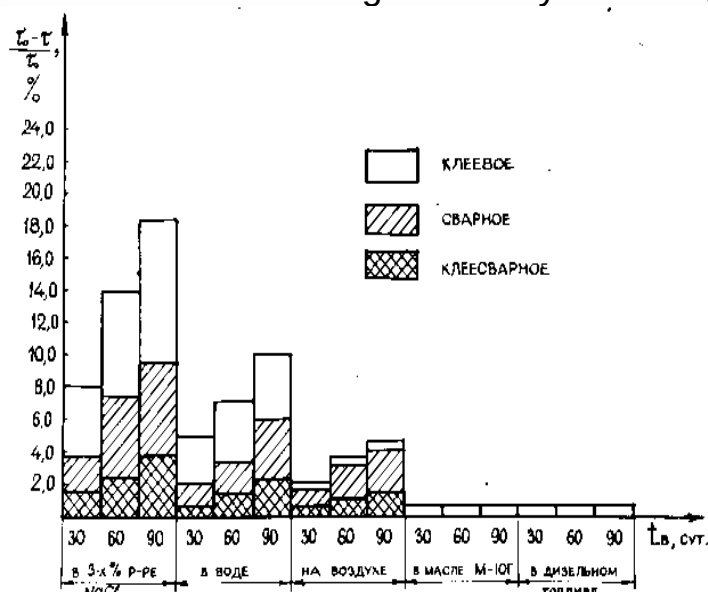


Fig. 1. Softening compounds in corrosion tests.

It was established that in conjunction glue welding joints hearth of destruction at the time of application of the load originates in the marginal zones of overlap on the adhesive bead. Was formed several main cracks propagating at an overlapped area to disbands, with a further full peeling the adhesive layer. Increasing the load resulted in a cut of molten core welding points or snatching it from the iron (sample material).

Investigation of the cut surface of the welded core point and its microstructure showed a complete absence of corrosion in it and heat-affected zone. Corrosion damage is detected on the outer parts of the adhesive bead with little penetration under overlapped. This is due to the diffusion of molecules penetration of aggressive environment at the contact area of the adhesive roller to the connecting portion of the sample in vulnerable areas. Thus, the adhesive roller detected microscopic cracks penetrating medium line section glue cast iron item. This causes a wedging compound with corrosion products within the range of corrosive environments. Decrease in strength glue welding joints under the influence of corrosive environment associated with partial loss of strength of the adhesive joint, thus, the welding point – protected from destruction.

In the weld – softening held on zone of broken away from the cast iron welding point. On the outer side of the lining in places of print electrodes corrosive deposits found in the form of concentric rings with the highest concentration in peripheral areas of welding points. This, apparently, is connected with the processes of the current distribution at the contact welding. The combined effect of external and internal areas of

corrosion damage in the zone of broken and wedging effect of corrosion products, lowers the strength of the join. Character of corrosion damage of joins for which comparative trials is shown in Fig. 2.

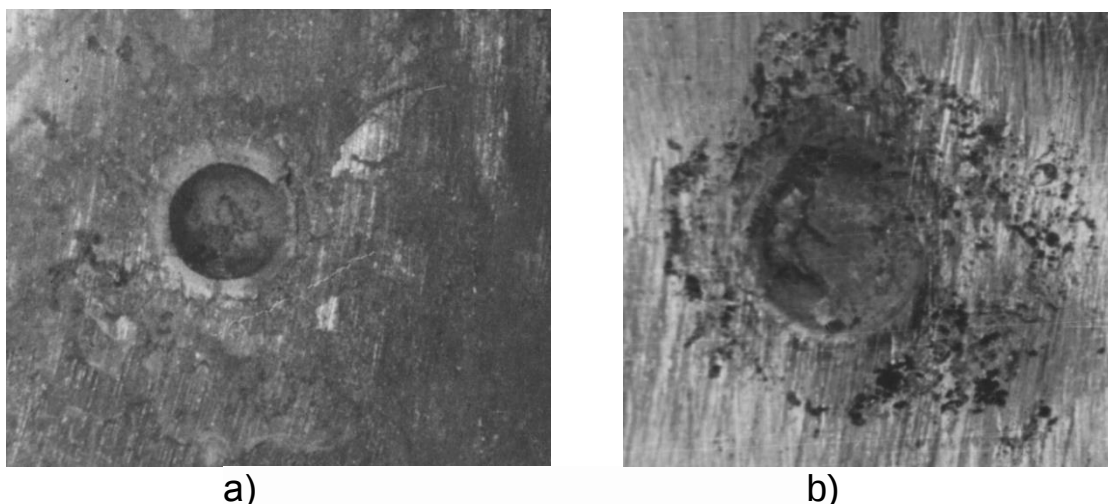


Fig. 2. Nature of defeat of corrosive environment: a) glue welding, b) welded joints.

In adhesive bonding, corrosion damage caused by the diffusion of molecules penetration defeat hostile environment under cover. In the outer surface of the adhesive bead were found microscopic cracks disposed across the platen. Start the destructive action of aggressive environment on the adhesive bonding takes place at the interface between the adhesive metal. Penetration occurs medium under overlapped on those areas where the adhesive bonds are broken with adhesive metal and replacing them with the connection metal corrosive environment.

When the connector connection found corrosion damage the surface of the steel plates in the edge zones overlap (pitting). The adhesive layer behind the cast iron parts, which is accompanied by softening joints. Thus, the decisive factor in determining the strength of the adhesive layer in conjunction glue welding is the change of adhesive forces at the interface between the adhesive metal.

An important stage of the research was the definition of resistance comparable types of connections to the effects of oil and fuel environments. Upon exposure of the samples in all types of environments, the lowest softening observed in glue welding, the largest - in the adhesive. Reduction in strength due to glue welding softening the adhesive joint in the edge zones overlap. Statement of welding points at a distance of no more than 8 mm from the free end lining significantly reduces the harmful effects of media on the strength glue welding joint.

The results of these studies show that water is an aggressive medium with dissolved ions, salts and acids. This leads to the need for protection, particularly welded.

Conclusions

Conducted comparative tests of specimens with cracks Eliminated adhesive, welded and glue welding joint compounds showed that only glue welding joint has sufficient resistance to the pulsating load, the value of 0,1 - 1,0 MPa. Welded connection depressurized overpressure 0,3 MPa is obtained, and the adhesive – 0,4 MPa.

Study of the surface joins showed that under an overlap occurs corrosion centers, particularly strongly expressed in the vicinity of the welding points (general corrosion).

Thus, our studies revealed glue welding joint compound has a high resistance to aggressive media, water, diesel fuel and mineral oil, which guarantees the durability of body parts in operation. Found that a greater reduction in strength occurs in 3% aqueous NaCl solution. For 30, 60 and 90 day strength glue wtlding reduced, respectively: 1,5%, 2,7% and 3,7%; welded - 3,9%, 7,7% and 9,2% adhesive to 8,0%, 14,0% and 18,0% were.

References

1. *Repair of machines*. 1992: / Under prof. N.F.Telnov. – M.: In Agropromizdat. – 550.
2. *Tchernoivanov V.A., Andreev P.I.* 1983: Renewal of details of agricultural machines. – M.: Kolos. – 238.
3. *Kakuevitskiy V.M.* 1983: Rational methods of welding of details from cast-iron / *V.M.Kakuevitskiy* // *Motor transport*. – №7. – 43–45.
4. *Karabinosh S.S.* 1985: Renewal of cabinet-type details by the glueweldsng method / *S.S.Karabinosh* // *Motor transport*. – №7. – 38–39.
5. *Unified process recovery cylinder blocks tractor engines*. 1982: – M.: GOSNITI. – 36.
6. *A. Popov, B. Butakov, D. Marchenro.* 2011: Opređenje napryzono-deformirovanogo sostoyaniy tel pri ix kontaknogo dzaimodeystviy / *A. Popov, B. Butakov, D. Marchenro* – Lublin, MOTROL, 13AP. – 13–24.
7. *Technology and equipment of the pin welding*. 1975: /Under prof. Orlov B.D. – M.: Engineer. – 536.
8. *Guliyv A.I.* 1978: Technology of the point and relief welding of steel / *A.I. Guliyv*. – M.: Engineer. – 647.
9. *Zolotarev B.B.* 1996: Tensions on-loading in flat connections on lining. / *B.B. Zolotarev* // *Automatic welding*. – № 9. – 35–39.
10. *Kargin U.B.* 1975: Metodika rascheta prochnosti kleesvarnix soedineniy s uchetov koncentracii napryjeniy / *U.B. Kargin*. – Saratov, Saratovskiy universitet. – 17–22.
11. *Shavirin V.V.* 1988: Glutwelding constructions / *V.V. Shavirin. V.A. Ryzantsev*. – M.: Engineer. – 231.
12. *Poliachenko A.B.* Progressive way to restore the basic details. 1985. / *A.B. Poliachenko, S.S. Karabinesh* // *Technique in agriculture*. – №2. – P. 47.
13. *Suhova E.F.* 1981: Sealing cracks in body parts / *E.F. Suhova, V.P. Mikhailov, V.D. Andrianov* // *Technique in agriculture*. – №3. – 43–45.

14. Karabinosh S.S. 2001: Non-distracted control glue-weed joining by computer holography / S.S. Karabinosh. – Motrol. – Vol. 4. – 144–147.
15. Karabinosh S.S. 1985: Recovery of body parts glue welding method / S.S. Karabinosh // Road Transport. – №7. – 38–39.
16. Vinokourov A.F. 1982: Sealing cracks in body parts // Technology in agriculture. – №4. – 49.
17. Boyko A.I. 2001: To question about determination energy of distraction body at there border state / A.I.Boyko. Zb. naukovikh prats KDTU. – Kirovograd. – 45–47.
18. Dobrovolskiy S.B. 2000: Methods of estimation of influence of structural concentration on малоцикловую durability / S.B. Dobrovolskiy // Motor industry. – № 6. – 19–23.
19. Towar I. 2006: Dynam calculation of machines / O. Lytvynov, W. Tana. – Motrol. – T. 8A. – 210–223.
20. Kudryvcev I.V. 1981: Ustalost krupnix detaley mashin / I.V. Kudryvcev, N.E. Naumchenko. – M.: Mashinostroenie. – 257.

У статті наведені методика й результати порівняльних випробувань на герметичність і корозійну стійкість з'єднань, використовуваних при усуненні тріщин в чавунних корпусних деталях. Дослідження проводили для визначення необхідних показників з використанням клеєзварних, зварних і клейових з'єднань.

Клеєзварювання, зварювання, клейка, з'єднання, герметичність, корозія, стійкість, випробування, дослідження, результати.

В статье приведены методика и результаты сравнительных испытаний на герметичность и коррозионную стойкость соединений, используемых при устранении трещин в чугунных корпусных деталях. Исследования проводили для определения необходимых показателей с использованием клеесварных, сварных и клеевых соединений.

Клеесварка, сварка, клейка, соединение, герметичность, коррозия, стойкость, испытания, исследования, результаты.

УДК 538.21.3

ЕФЕКТИВНІ СТАЛЕБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ ДЛЯ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА

М.О. Давиденко, кандидат технічних наук

У статті наведені пропозиції щодо створення ефективного сталобетонного перекриття у вигляді ригелю з порожнинами в

© М.О. Давиденко, 2015

розтягнутій зоні, верхньою надпорною арматурою і порожнисто-ребристих плит.

Міцність, елемент, армування, базальт, фібра.

Постановка проблеми. Останнім часом велика увага приділяється програмі «доступне житло» не виключено, що в найближчому майбутньому технології панельного домобудування вітчизняні та зарубіжні будуть активно використовуватися в Україні [1], що забезпечить необхідні темпи будівництва недорогого, швидкобудуємого і, по можливості, комфортного житла.

Аналіз останніх досліджень. Досить згадати, що в 70-х, 80-х роках минулого століття питома вага крупнопанельного будівництва у великих містах становила 60-70% від загального обсягу будівництва житлових і цивільних будинків. До мінусів панельних будинків зазвичай відносять виключення вільного планування внутрішніх приміщень, низьку комфортабельність, естетику, високу собівартість, що вимагає свого рішення. Наприклад, збільшення площі, об'єму приміщень можна досягти установкою сталобетонних балок з наступним монтажем на балку порожнистих плит, рис. 1.



Рис. 1. Установка сталобетонної балки в крупнопанельній будівлі з подальшим монтажем на балку порожнистих плит [1].

Існує й інша проблема. В Україні території зі складними інженерно-геологічними умовами складають більше 70% (зсуви, підтоплення, підробітки та ін.), 40% охоплені безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних явищ. Тому при зведенні панельних будинків потрібні додаткові заходи по забезпеченню надійності будівель згідно норм ДБН В.1.1-12-2006 [2]: влаштування жорстких дисків перекриттів, посилення вузлів кріплення панелей і перекриттів та ін. Панельні будинки старої споруди, особливо, з тришаровими стіновими панелями, наприклад, серії 1-464А з панелями перекриттів, укладеними

насухо, відповідно до даної серії, не справляються з динамічним навантаженням (рис. 2).



Рис. 2. Відхилення від проектного положення і обвалення тришарових стінових панелей і плит перекриттів в панельному будинку серії 1-464 А.

Мета досліджень є створення ефективного сталобетонного перекриття.

Результати досліджень. Аналіз останніх досліджень в області збірно-монолітних перекриттів [3, 4] дозволяє запропонувати збірні сталобетонні ригелі (рис. 3) з перекриттям у вигляді порожнисторебристих плит, що виготовляються як на майданчику, так і в заводських умовах.

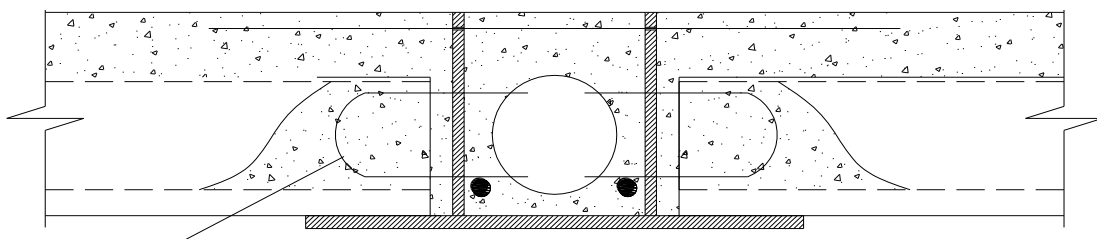


Рис. 3. Збірно-монолітне перекриття з порожнисторебристими плитами.

При створенні конструктивного рішення ригеля сталобетонного перекриття за основу прийнята система збірного перекриття «Дельта Балка» [5]. Основними недоліками «Дельта Балки» є односторонній шов з'єднання стінки і нижньої полиці, на яку спираються багатопорожнисті залізобетонні плити, підвищена витрата сталі на верхній пояс значної товщини, заповнення бетоном простору між стінками в

розтягнутій зоні, що призводить до збільшення ваги «Дельта Балки».

На відміну від конструктивної системи [5] в пропонованому сталобетонному варіанті перекриття, рис. 3 використані: в ригелі вертикальні сталеві стінки з отворами, порожнини в розтягнутій зоні бетону ригеля, замість верхнього сталевого поясу ригеля використана верхня надпорна арматура, яка проходить в отвори в стінках балки і сприймає розтягнуті зусилля; в якості плит прийняті ефективні за вагою, несучою здатністю і трудомісткістю виготовлення порожнисторебристі плити, Замість каркасів, які встановлюються в стики між багатопорожнистими плитами в системі «Дельта - балка», використані арматурні петлі, заведені в порожнини плит і отвори перфорованих стінок ригеля, з метою фіксування картонного утворювача порожнин ригеля під час бетонування і збільшення жорсткості з'єднання.

Порожнисторебристі плити розміром 1000х6000 мм наведено на рис. 4. У плитах в якості утворювача порожнин використані картонні труби. Промислові випробування порожнисторебристих плит проведені на сертифікованому обладнанні в ЕКБ ДП НДІБК. Розроблене конструктивне рішення багатопорожнистої ребристої плити захищено деклараційним патентом України [6].



Рис. 4. Порожнисторебриста плита розміром 1000х6000 мм після виготовлення і розпалубки.

Висновки

Пропоноване рішення ригеля і плити з порожнинами в розтягнутій зоні відрізняється підвищеною питомою несучою здатністю в порівнянні з «Дельта-балкою» за рахунок зниження власної ваги і зниження витрати сталі.

Для будівництва нових панельних будинків в Україні, не виклю-

чаючи іноземні технології, необхідно розробка низки заходів, що враховують складні інженерно-геологічні умови і сейсмічну активність України.

Список літератури

1. Н. Білоусова. Соціальне житло по-фінськи /<http://smi.liga.net/articles>.
2. ДБН В.1.1-12 2006. Будівництво у сейсмічних районах України. – К.: Мінбуд України. – 2006. – 61 с.
3. Збірно-монолітні перекриття /www.solostroy-service.ru/page/page67.html.
4. Збірно-монолітне перекриття з газобетонних блоків / www.gazobeton78.ru
5. Дельта Балка. Реікогрупп. Каталог продукції 2009 / <http://www.peikko.com>.
6. Патент 14587 Україна, МПК Е 04 В 5/32. Багатопорожнинна залізобетонна конструкція перекриття зі сталевими профільованим настилом / [Давиденко О.І., Присяжнюк М.В., Давиденко М.О., Бамбура А.М., Бєлов І.Д. (Україна)]; ДонДТУ. – № 200511604 ; Заявл. 06.12.05 ; Опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. – 2 с.

В статье приведены предложения по созданию эффективного сталебетонного перекрытия в виде ригеля с пустотами в растянутой зоне, верхней надпорной арматурой и пустотноребристыми плитами.

Прочность, элемент, армирования, базальт, фибра.

The paper presents the proposal to establish an effective reinforced concrete slab as bolt from the voids in tension zone, the upper superbasic fittings and voids-ribbed slabs.

Strength, element, reinforcement, basalt, fiber.

УДК 631.55

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТЕБЕЛ КОНОПЕЛЬ

В.О. Гридякін, докторант*

***Глухівський національний педагогічний університет
імені Олександра Довженка***

Проведено дослідження фізико-механічних властивостей, таких як конусність, довжина, діаметр стебел конопель, для обґрунтування конструктивних та геометричних параметрів робочих органів машин призначених збирання конопель.

***Науковий консультант – доктор технічних наук В.П. Ковбаса**

© В.О. Гридякін, 2015

Фізико-механічні властивості, конусність, довжина, діаметр стебел конопель.

Постановка проблеми. Фізико-механічні властивості стебел конопель є вихідними даними для обґрунтування параметрів робочих органів машин для збирання конопель. Дослідженнями фізико-механічних властивостей стебел конопель займалися такі видатні вчені, як Гончаров Г.І. [1], Пашин Є.Л. [2].

Рулонна технологія збирання конопель потребує розробки нового комплексу машин, який включає коноплежатку з розстилальним апаратом, перевертувач стрічок конопель, рулонний прес-підбирач, розмотувальник рулонів. Для обґрунтування параметрів робочих органів цих машин важливе значення мають такі фізико-механічні властивості, як конусність стебел, їх довжина, діаметр та інші [4, 5, 7]. Так, наприклад, наявність конусності в стеблах конопель не дозволяє формувати рулони із стрічок паралельно зорієнтованих стебел конопель рулонними прес-підбирачами загального призначення [3, 6]. Тому для обґрунтування пресувальної камери рулонного прес-підбирача конусність стебел конопель є основним технологічним параметром.

Аналіз останніх досліджень. При транспортуванні стебел конопель секційним транспортером нижня частина стебел, яка знаходиться під пасами секційного транспортеру, на своєму шляху стикається з нерухомим кожухом і зазнає деформації згину. Важливе значення має визначення максимального відгину, щоб правильно розрахувати силу притискання пасів і силу натягу пасів, які б унеможливили злом стебел у пасах секційного транспортера при їх транспортуванні.

Метою досліджень є визначення фізико-механічних властивостей стебел конопель, з метою вдосконалення технології збирання конопель та скорочення трудомісткості операцій, виконуваних вручну.

Результати досліджень. Для дослідження був узятий найбільш розповсюджений сорт конопель ЮСО-31. Біометрична характеристика стебел конопель наведена в табл. 1.

Експериментальні дослідження конусності сухих стебел конопель соломки і трести проведені на їх технічній довжині.

Мета досліджу полягала у визначенні δ_c конусності стебел конопель у період завершення сушки соломки і вилежки трести від їх технічної довжини і діаметрів: – біля кінцівки стебла; – на відстані 1,4 м від кінцівки стебла; – на початку суцвіття стебла.

Для проведення досліджу стебла відбирались із стрічок трести конопель сорту ЮСО-31, на яких проводились лабораторні випробування експериментального зразка рулонного прес-підбирача. Визна-

чалась вологість стебел, після чого проводились заміри їх діаметрів, а також замірялась технічна довжина стебел і їх довжина.

1. Основні характеристики стебел конопель.

Найменування характеристики	Граничні значення	Середнє значення	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
Довжина стебла, см	142...244	198	758	26,4	13,4
Діаметр стебла, мм:					
-біля кінцівки	5,3...11,7	9,1	3,4	1,8	20,2
- по середині	4,2...8,9	7,1	1,7	1,2	17,8
-біля вершин	2,1...4,7	3,6	0,3	0,5	15,9
Товщина двох стінок перерізу стебла, мм	2,1...7,6	4,4	2,2	1,4	32,4

За результатами досліджень отримано 350 розрахункових значень загальної конусності δ_c стебел соломки і трести конопель вологістю $W_c=12,4-14,2\%$ від їх технічної довжини при різних діаметрах кінцівки стебла і початку суцвіть.

Визначена конусність стебел соломки і трести конопель на відстані 1,4 м від кінцівки стебла і початку суцвіть. Саме така частина довжини стебла знаходиться за межами активної частини пресувальної камери рулонного прес-підбирача ПРП-1,6. Отримано 350 значень конусності на довжині стебел при різних діаметрах кінцівок стебел і на відстані 1,4 м від кінцівки стебел для соломки і трести конопель. Кореляційні поля загальної конусності δ_c і конусності стебел соломки і трести конопель показані на (рис. 1 – рис. 8).

Із рис (рис. 1 – рис. 4.) видно, що із збільшенням і як для соломки, так і для трести стебел конопель значення δ_c і зменшуються (від'ємний кореляційний зв'язок).

В той же час із збільшенням діаметра стебел значення δ_c і суттєво зростають як для соломки, так і для трести стебел конопель (рис. 5, рис. 6. і рис. 7, рис. 8). Установлено, що діаметри і, а також конусності δ_c і – величини взаємопов'язані.

У стебел соломки конопель значення парних коефіцієнтів кореляції показали, що найбільш сильний кореляційний лінійний зв'язок виражений між δ_c і ($r=0,7235$), а також між δ_c і ($r=0,7182$).

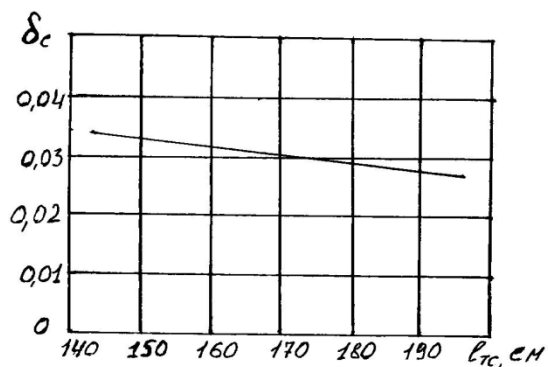


Рис. 1. Кореляційне поле загальної конусності δ_c стебел соломки конопель і лінія тренда її значень від технічної довжини стебел у межах 12,4...14,2%.

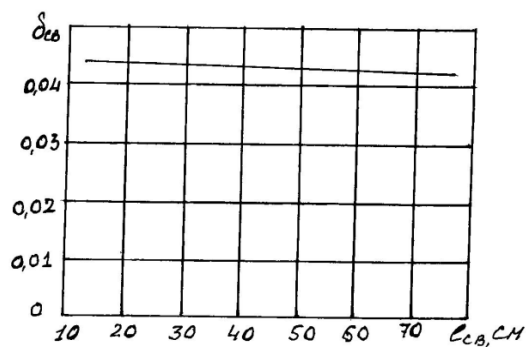


Рис. 2. Кореляційне поле конусності верхньої частини стебла соломки і лінія тренда її значень від довжини у межах 12,4...14,2%.

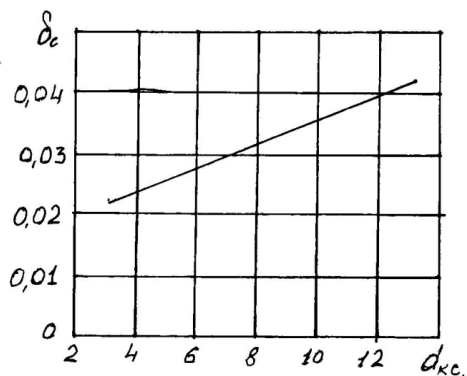


Рис. 3. Кореляційне поле загальної конусності δ_c стебел трести конопель і лінія тренда її значень від технічної довжини стебел у межах 12,4...14,2%.

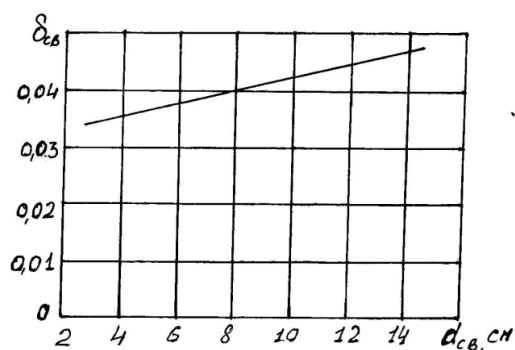


Рис. 4. Кореляційне поле конусності вершинної частини стебла трести і лінія тренда її значень від довжини у межах 12,4...14,2%.

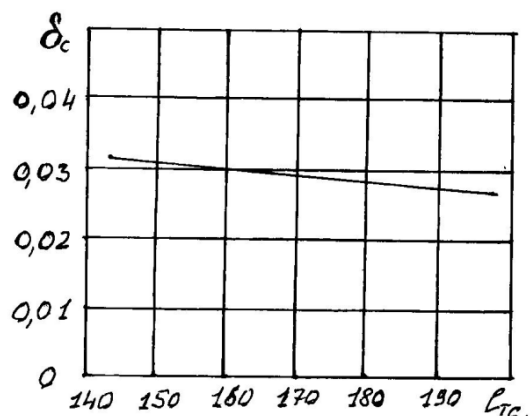


Рис. 5. Кореляційне поле загальної конусності δ_c стебел соломки конопель і лінія тренда її значень від діаметра стебел 12,4...14,2%.

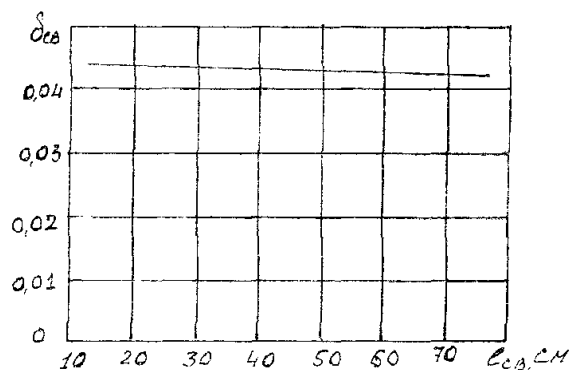


Рис. 6. Кореляційне поле конусності вершинної частини стебла соломки і лінія тренда її значень від діаметра 12,4...14,2%.

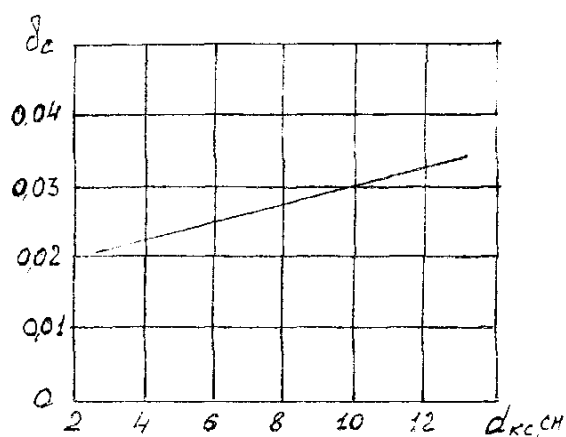


Рис. 7. Кореляційне поле загальної конусності δ_c стебел трести конопель і лінія тренда її значень від діаметра стебел 12,4...14,2%.

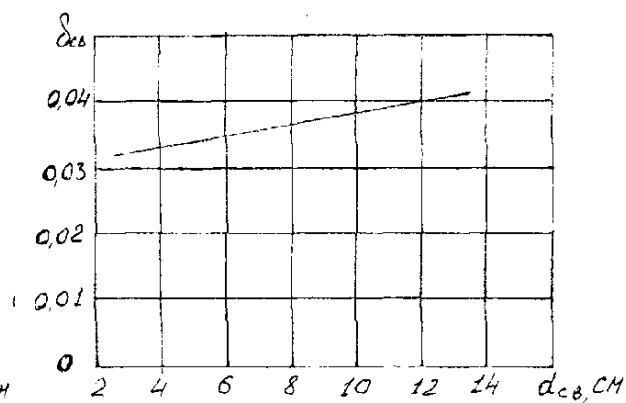


Рис. 8. Кореляційне поле конусності вершинної частини стебла трести і лінія тренда її значень від діаметра 12,4...14,2%.

Висновок. Середня висота стебел конопель – 198 см. з діапазоном варіації 143–244 см, діаметр стебла у кореневій шийці становить в середньому 9,1 см, діаметр стебла по середині – 7,1 см, середній діаметр біля суцвіть – 3,6 см. Конусність стебел δ_c соломки конопель складає: максимальна – 0,041; середня – 0,0312; мінімальна – 0,022; у стебел трести конопель конусність відповідно дорівнює: максимальна – 0,032; середня – 0,0294; мінімальна – 0,0264. Конусність вершинної частини стебел соломки: максимальна – 0,0582; середня – 0,0445; мінімальна – 0,042; у стебел трести конопель конусність відповідно дорівнює: максимальна – 0,0454; середня – 0,0431; мінімальна – 0,0414.

Список літератури

1. Гончаров Г.И. Исследование, разработка и внедрение в производство новых коноплеуборочных машин и технологических процессов комплексной механизации уборки конопли / Г.И. Гончаров. – М., 1967. – 168 с.
2. Пашин Е.Л. Физико-механические свойства конопли и их зависимость от способа приготовления тресты и диаметра стеблей / Е.Л. Пашинин // Селекция, семеноводство, уборка и первичная обработка конопли. – Глухов, 1990. – С. 28–32.
3. Патент 12922 Україна, A01D45/00, A01D45/06. Спосіб перевертання стрічок стебел високостеблевих культур та підбирач-перевертувач для його здійснення. / В.С. Головій, В.О. Гридякін ; ІЛК УААН ; заявл. 30.04.1991 ; опубл. 28.02.1997, Бюл. №1.
4. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / ВИСХОМ, Т.5: Проектирование, расчеты, конструкция. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940. – 646 с.

5. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин [текст] : в 4-х т. / ред. М.И. Клецкин. Т.3. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 743 с.
6. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / ВИС-ХОМ; общ. ред. В.П. Горячкина. Т. 3: Теория. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – 780 с.
7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

Проведено исследование физико-механических свойств, таких как конусность, длина, диаметр стеблей конопля, для обоснования конструктивных и геометрических параметров рабочих органов машин предназначенных для сбора конопля.

Физико-механические свойства, конусность, длина, диаметр стеблей конопля.

Research of physical and mechanical properties, such as conicity, length, diameter of stalks of hemp, for justification of design and geometrical parameters of working bodies of machines designed for collecting hemp is conducted.

Physical and mechanical properties, conicity, length, diameter of stalks of hemp.

УДК 531.3

ПРО КРИТЕРІЙ МІЦНОСТІ І СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ КОМПОНЕНТАМИ НАПРУЖЕНЬ СИПУЧОГО СЕРЕДОВИЩА

**В.П. Ковбаса, доктор технічних наук
В.П. Курка, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
Алі Ахмед Кадем, аспірант*
Сумський національний аграрний університет**

Показано вплив граничного напруження зсуву, початкового напруження зсуву, коефіцієнта внутрішнього і зовнішнього тертя при визначенні навантажень з боку матеріалів на конструкції, споруди та робочі органи.

Критерій міцності, сипуче середовище, напруження в середовищі, ґрунт, напруження зсуву в середовищі.

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.П. Ковбаса

© В.П. Ковбаса, В.П. Курка, Алі Ахмед Кадем, 2015

Постановка проблеми. У багатьох процесах при формалізації матеріалів і середовищ застосовується модель сипучого дискретного середовища [1–4]. До таких моделей приходять у випадках формалізації процесів пов'язаних з ґрунтом, зерновими матеріалами, комбікормами, продуктами переробки зернових, бобових і олійних культур [5–7]. При цьому ці матеріали мають суттєві відмінності в механічних властивостях, зокрема граничному напруженні зсуву, початковому напруженні зсуву, коефіцієнтах внутрішнього і зовнішнього тертя. Тому при формалізації процесів дуже важливим є врахування цих властивостей при визначенні умов руху таких матеріалів, визначенні навантажень з боку матеріалів на конструкції, споруди та робочі органи. Крім того важливим є знання величин зовнішніх впливів при необхідності переміщення цих матеріалів та зміни їх властивостей.

Аналіз останніх досліджень. Виходячи з цього, знання зв'язків компонентів напружень таких матеріалів і умов порушення рівноваги має надзвичайно важливе значення. Відповідно з твердженням Хаара і Кармана класична теорія пластичності і теорія граничної рівноваги ґрунтів (теорія сипучого середовища) мають спільне підґрунтя, тому аналіз сипучого середовища проводиться із застосуванням методів класичної теорії пластичності.

Мета досліджень. Проаналізувати вплив граничного напруження зсуву, початкового напруження зсуву, коефіцієнта внутрішнього і зовнішнього тертя при визначенні навантажень з боку матеріалів на конструкції, споруди та робочі органи.

Результати досліджень. Одним з найбільш поширених і найбільш застосовуваних до сипучого середовища критеріїв повної пластичності (умови граничної рівноваги) є критерій Треска, згідно з яким умова граничної рівноваги має вигляд:

$$\sigma_3 = \sigma_2, \sigma_1 - \sigma_3 = 2k, \quad (17)$$

де: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження в середовищі;

k – константа, яка характеризує границю переходу середовища в пластичний стан.

Для визначення величини k (умови рівноваги) можна скористатися колами Мора (рис.1).

На рис. 1 позначення мають наступні трактування: τ_0 – початкове напруження зсуву для зв'язного сипучого середовища, φ – кут внутрішнього тертя середовища, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження в середовищі (відповідно найбільше, середнє і найменше). Згідно Отто Мора CA_1 і CA_2 – лінії ковзання по яких відбувається пластична течія або руйнується суцільність. Співвідношення між компонентами напружень на лініях ковзання мають вигляд:

$$BO = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \sigma_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}; BC = \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OP_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$\frac{1}{\sin \varphi} = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}; \quad (18)$$

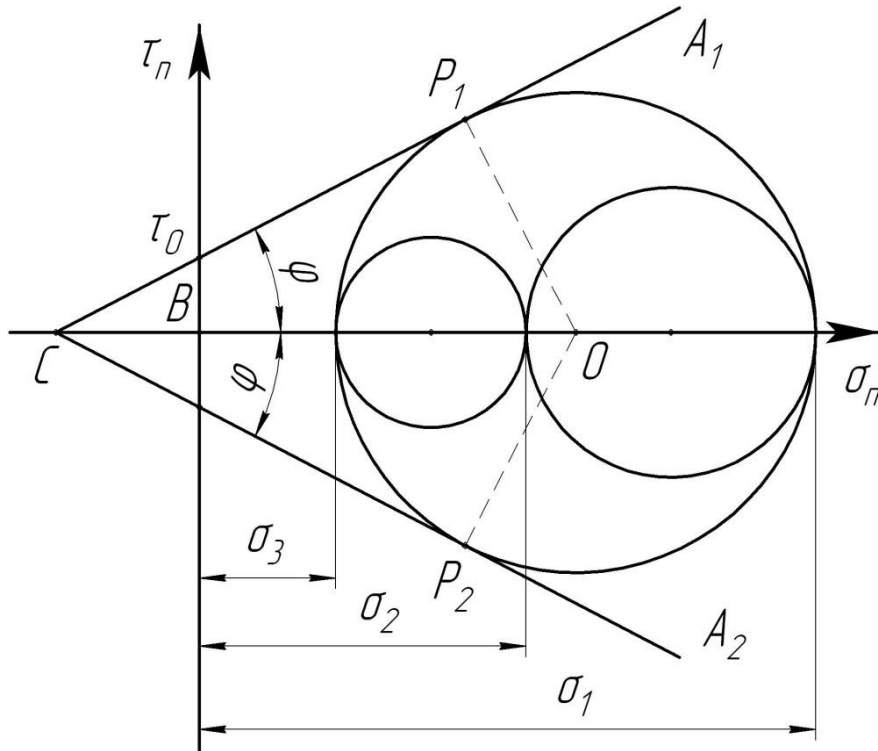


Рис. 1. Кола Мора для визначення співвідношень між компонентами напружень і умовами настання пластичності.

З виразу (2) на лініях ковзання можна отримати співвідношення між властивостями середовища і компонентами напружень:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_3 + 2\tau_0 ctq\varphi + \sigma_3 \sin \varphi}{-1 + \sin \varphi}; \quad \sigma_3 = \frac{-\sigma_1 - \tau_0 ctq\varphi + \sigma_1 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}. \quad (19)$$

Згідно уявлень напружень через кола Мора максимальне дотичне напруження має вигляд: $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, що відповідно до умовою пластичності Треска:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \leq k, \quad k - \text{const}, \quad \text{або} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = 2k.$$

Слід зазначити, що постійна k для пластичного зв'язного (сипучого) середовища може бути отримана з умови (3) з урахуванням того що:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2k, \quad \text{при} \quad \sigma_2 = \sigma_3, \quad \sigma_3 = \frac{1}{2}(3\sigma - \sigma_1), \quad \sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3).$$

Підстановка рівнянь для σ і σ_3 в перше рівняння (3) і вираження з нього постійної k дає вираз:

$$k = -\frac{3(\sigma \sin \varphi + \tau_0 \cos \varphi)}{-3 + \sin \varphi}. \quad (20)$$

Графічно вираз (4) при постійній напрузі $\sigma = \text{const}$ має вигляд представлений на рис. 2.

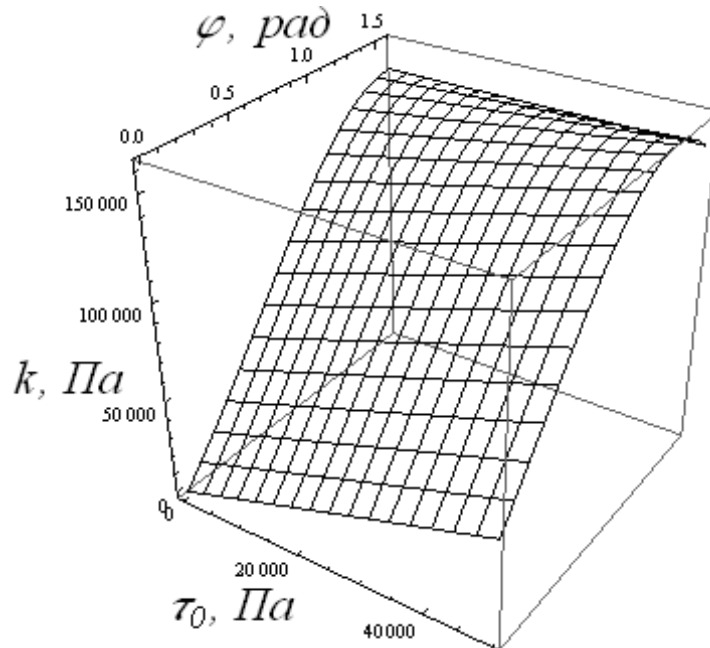


Рис. 2. Залежність постійної k від кута внутрішнього тертя φ і початкової напруги зсуву τ_0 середовища.

Для вирішення задач статички пластичного (дискретного сипучого) середовища необхідно знати як пов'язані компоненти напружень між собою і який зв'язок вони мають з механічними властивостями самої середовища.

На майданчику довільно нахиленої до осей координат xyz зв'язок між компонентами напружень і головними напруженнями визначається через напрямні косинуси:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_1 l_1^2 + \sigma_2 m_1^2 + \sigma_3 n_1^2; & \tau_{xy} &= \sigma_1 l_1 l_2 + \sigma_2 m_1 m_2 + \sigma_3 n_1 n_2; \\ \sigma_y &= \sigma_1 l_2^2 + \sigma_2 m_2^2 + \sigma_3 n_2^2; & \tau_{yz} &= \sigma_1 l_2 l_3 + \sigma_2 m_2 m_3 + \sigma_3 n_2 n_3; \\ \sigma_z &= \sigma_1 l_3^2 + \sigma_2 m_3^2 + \sigma_3 n_3^2; & \tau_{xz} &= \sigma_1 l_1 l_3 + \sigma_2 m_1 m_3 + \sigma_3 n_1 n_3; \end{aligned} \quad (21)$$

де існує зв'язок між осями координат та напрямками головних напружень через напрямні косинуси:

	1	2	3
x	l_1	m_1	n_1
y	l_2	m_2	n_2
z	l_3	m_3	n_3

При цьому існує зв'язок:

$$\begin{aligned} l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 &= 1; & l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\ l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 &= 1; & l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 &= 0; \\ l_3^2 + m_3^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 &= 0, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 &= 1; & l_1 m_1 + l_2 m_2 + l_3 m_3 &= 0; \\ m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 &= 1; & m_1 n_1 + m_2 n_2 + m_3 n_3 &= 0; \\ n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 n_1 + l_2 n_2 + l_3 n_3 &= 0. \end{aligned}$$

З урахуванням (1) і (5) компоненти напружень можуть бути записані наступним чином:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma - 2k/3 + 2kn_1^2; & \tau_{xy} &= 2kn_1n_2; \\ \sigma_y &= \sigma - 2k/3 + 2kn_2^2; & \tau_{yz} &= 2kn_2n_3; \\ \sigma_z &= \sigma - 2k/3 + 2kn_3^2; & \tau_{xz} &= 2kn_1n_3, \\ n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 &= 1. \end{aligned} \quad (22)$$

Якщо з виразів (6) для компонентів нормальних напружень виразити n_1, n_2, n_3 і підставити у рівняння для τ_{ij} , то можна записати:

$$\begin{aligned} \tau_{xy}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_y - \sigma + 2k/3); & \tau_{yz}^2 &= (\sigma_y - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3); \\ \tau_{xz}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3), \end{aligned} \quad (23)$$

а потім:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma + 2k/3)\tau_{yz} &= \tau_{xy}\tau_{zx}; & (\sigma_y - \sigma + 2k/3)\tau_{xz} &= \tau_{xy}\tau_{yz}; \\ (\sigma_z - \sigma + 2k/3)\tau_{xy} &= \tau_{xz}\tau_{yz}. \end{aligned} \quad (24)$$

З співвідношень (8):

$$\sigma_x = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{zy}\tau_{zx}}{\tau_{yz}}; \quad \sigma_y = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{zy}\tau_{yz}}{\tau_{xz}}; \quad \sigma_z = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}}. \quad (25)$$

А далі:

$$\frac{\tau_{xy}\tau_{zx}}{\tau_{yx}} + \frac{\tau_{xy}\tau_{yz}}{\tau_{zx}} + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}} = 2k.$$

Якщо в Декартовій системі координат ввести значення косинусів кута нахилу найбільшого головного напруження до осей координат x, y, z : $n_1 = \cos \alpha$; $n_2 = \cos \beta$; $n_3 = \cos \gamma$, то з рівнянь (6) можна визначити компоненти напружень через кути нахилу найбільшого головного напруження:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \alpha); & \sigma_y &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \beta); \\ \sigma_z &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \gamma); & \tau_{xy} &= 2k \cos \alpha \cos \beta; \\ \tau_{yz} &= 2k \cos \beta \cos \gamma; & \tau_{xz} &= 2k \cos \alpha \cos \gamma. \end{aligned} \quad (26)$$

Такими є співвідношення для умов повної пластичності (граничної рівноваги для сипучих) при віднесенні до Декартової системи координат.

Висновок. Отримана постійна, яка визначає граничний стан зв'язкового сипучого матеріалу (середовища) і співвідношення між компонентами напружень в цьому середовищі, а також напрямками дії головних напружень, які дозволяють вирішувати завдання статички сипучої зв'язковий середовища, яка характеризується кутом внутрішнього тертя і початковим напруженням зсуву.

Список літератури

1. *Надаи А.* Пластичность и разрушение твердых тел / *А. Надаи.* – М.: Мир, 1969. – Т. 2. – 864 с.
2. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия / *К. Джонсон.* – М.: Мир, 1989. – 510 с.
3. *Дубровін В.О.* Фізичні рівняння формалізації ґрунту / *В.О. Дубровін, В.П. Ковбаса* // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ, 2003. – Вип. 60. – С. 172–176.
4. *Ковбаса В.П.* Про критерій міцності та співвідношення між компонентами сипкого середовища / *В.П. Ковбаса, В.В. Ярошенко* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40. – Ч. 1. – С. 35–39.
5. *Шелудченко Б.А.* Напружено-деформований стан оброблюваного ґрунту і оптимізація кутових параметрів ґрунтообробних знарядь / *[Б.А. Шелудченко, В.І. Котков, В.О. Шубенко, П.М. Забродський]* // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1994. – №1. – С. 115–123.
6. *Ковбаса В.П.* Про визначення критерію вигляду напружено-деформованого стану суцільного середовища / *В.П. Ковбаса* // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Х.: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8, т. 2. – С. 79–82.
7. *Ишлинский А.Ю.* Математическая теория пластичности / *А.Ю. Ишлинский, Д.Д. Ивлев.* – М.: Физматлит, 2003. – 701 с.

Показано влияние предельного напряжения сдвига, начального напряжения сдвига, коэффициента внутреннего и внешнего трения при определении нагрузок со стороны материалов на конструкции, сооружения и рабочие органы.

Критерий прочности, сыпучая среда, напряжение в среде, почва, напряжение сдвига в среде.

Shows the effect of limiting shear stress, the initial shear stress coefficient of internal and external friction in determining the loads from the construction materials, structures and working bodies.

Strength criterion, loose environment, tension in environment, soil, shear stress in soil.

КОМПОЗИЦІЙНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КАРБІДОСТАЛЕЙ З ДОМІШКАМИ КАРБІДІВ ХРОМУ І ТИТАНУ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

***В.А. Маслюк, доктор технічних наук
Р.В. Яковенко, кандидат технічних наук
Інститут проблем матеріалознавства
імені І.М. Францевича НАН України
М.І. Денисенко, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

В статті встановлено закономірності отримання зносостійких порошкових матеріалів типу карбідосталей на основі системи «хромиста сталь-карбід хрому» і розробка на їх основі деталей робочих органів сільськогосподарських машин.

Робочі органи, абразивне зношування, хромиста сталь, композиційні матеріали, довговічність, карбід хрому.

Постановка проблеми. Переважна більшість сучасних машин і механізмів має рухомі сполучення, що забезпечує можливість виконання ними робочих функцій, тому створення та освоєння промисловістю нових ефективних матеріалів, які можуть надійно працювати в різноманітних умовах, представляють собою важливу задачу в області машинобудування і транспорту. Від матеріалів вимагають низькі значення втрат енергії на тертя, високу зносостійкість, а також в ряді випадків високу корозійну стійкість для експлуатації в агресивних середовищах. До таких матеріалів належать порошкові матеріали з нерівноваженою структурою, без вольфрамові тверді сплави та карбідосталі. Порошкові тверді сплави є композиційними гетерогенними матеріалами, які складаються з твердих тугоплавких сполук розподілених в пластичній матриці з металів тріади заліза.

Безвольфрамові тверді сплави-це сплави на основі карбіду і карбонітриду титана, зцементованих нікель-молібденовим зв'язуючим. Вони характеризуються меншим модулем пружності і вищим коефіцієнтом термічного розширення, тобто є чутливими до ударних і теплових навантажень, ніж вольфрамо-кобальтові тверді сплави, та у деяких випадках містять дорогі та дефіцитні нікель і молібден. Відмінною особливістю порошкових конструкційних матеріалів є їх поруватість, регулюванням якої можливо в широких межах

керувати фізико-механічними властивостями виготовлених деталей. Існує ряд методів одержання конструкційних деталей високої щільності. Це багаторазове пресування і спікання, гідростатичне, ізостатичне і гаряче пресування, прокатування металевих порошків, пресування скошеним пуансоном і в металевих оболонках, гаряче штампування пористих заготовок, вибухове пресування, екструдкування, просочення рідкими металами, спікання з утворенням рідкої фази. Карбідосталі за своїми властивостями є проміжними між твердими сплавами і інструментальними сталями. Висока твердість, зносостійкість і можливість зберігати ці властивості при високих температурах визначають можливості їх широкого застосування.

Аналіз останніх досліджень. Відомі нині карбідосталі отримують переважно рідко фазним спіканням. Їх основою найчастіше є леговані сталі, у тому числі нержавіючі, а в якості твердої складової в них використовуються карбід або карбонітрид титану. До недоліків відомих карбідосталей належить збільшення зерен карбіду та схильність до окиснення в процесі спікання, недостатня корозійна стійкість. При застосуванні ряду методів необхідні дуже високі тиски, а це викликає велике спрацювання пресформ. Тому найперспективнішими є методи формування металокерамічних несучих деталей, які дають можливість одержувати деталі складної геометрії при низьких тисках або без застосування спеціальних пресформ. Технологія виготовлення несучих деталей забезпечує одержання виробів або заготовок з достатньою міцністю, пластичністю, твердістю, незначною залишковою пористістю, а також іншими специфічними властивостями.

Відомі роботи зі створення карбідосталей на основі системи залізо-карбід хрому. Недоліком їх є недостатня стійкість до корозії. Розроблені раніше композити «нержавіюча сталь аустенітного класу-карбід хрому-дисиліцид молібдену» належать до класу трибо технічних матеріалів і мають крупнозернисту структуру (зі середнім розміром 50-100 мкм), що негативно позначається на фізико-механічних характеристиках. Міцнісні характеристики металокерамічних конструкційних матеріалів підвищуються при легуванні залізної основи сплаву. Однією з найпоширеніших легуючих домішок є хром.

Сплави на основі карбіду хрому з нікелевою (КХН) і нікель фосфорною (КХНФ) зв'язками відрізняються комплексом важливих властивостей, що дає можливість ефективно використовувати їх для виготовлення деталей, працюючих в умовах тертя, абразивного зношування, агресивного хімічного середовища і високих температур. Перші спроби створити тверді сплави на основі карбіду хрому з залізо вуглецевою зв'язкою було здійснено в роботі [1]. Сплави утримували 20% зв'язки, що являла собою вибілений чавун з 3,8%

C, відрізнялися високою твердістю (88 HRA), але мали низькі характеристики міцності ($\sigma_{\text{згин}}=190$ МПа). Взаємодію титану з карбідом хрому при спіканні досліджено в роботі [2, 3], автори якої встановили, що у спеченому матеріалі з'являється нова фаза-TiC. Розчинення карбіду хрому відбувається в інтервалі температур від 950 до 1250°C. Оскільки TiC має інший тип і параметри решітки, ніж карбід хрому, треба очікувати, що його утворення буде супроводжуватися зміною розмірів зразка. При використанні у суміші з титаном частинок карбіду хрому, які мають малий вуглецевий потенціал (частинки менше 20 мкм). В цих межах температур відбувається дисоціація карбіду хрому і утворення карбіду титану в місцях концентрації вуглецю. Деталі з карбідо хромових сплавів одержують із суміші порошків карбіду хрому Cr_3C_2 і нікелю пресуванням і спіканням в захисному середовищі при температурі вище 1200°C. Вміст нікелю може становити 5–40%.

Метою досліджень є встановлення закономірностей отримання зносостійких та корозійностійких порошкових матеріалів типу карбідосталей на основі систем «хромиста сталь-карбід хрому» методами рідко фазного спікання, гарячого штампування та імпульсного гарячого пресування і розробка на їх основі деталей робочих органів сільськогосподарських машин.

Результати досліджень. Велику кількість експериментів присвячено дослідженню впливу умов виготовлення на фазовий склад порошкових зносокорозійностійких матеріалів типу карбідосталей, отриманих спіканням, імпульсним гарячим пресуванням (ІГП) та гарячим штампуванням (ГШ). Встановлено, що, незалежно від методу отримання карбідосталей, карбід хрому активно взаємодіє зі сталеву основою, що полягає у дифузії вуглецю і хрому із карбіду у матрицю, а заліза – із матриці в карбід і супроводжується утворенням складних гетерофазних структур і збільшенням загальної кількості карбідної фази в матеріалі. Збільшення твердої фази в матеріалі приводить до підвищення твердості та зносостійкості.

У результаті аналізу впливу вмісту компонентів на структуру спеченої карбідосталі, виявлено ефект подрібнення мікроструктури при збільшенні кількості карбіду хрому від 7,5 до 30% об., що дозволяє керувати структуроутворенням для досягнення необхідних властивостей карбідосталей (рис. 1). Встановлено, що гарячештампована карбідосталь має анізотропію зерен металу-основи в напрямку, перпендикулярному зусиллю штампування. Особливістю структури гарячештампованої карбідосталі є відсутність перехідної зони в місці контакту карбідного зерна з металом основи. Це в деяких випадках сприяє підвищенню міцності карбідосталі, що загалом забезпечує зростання механічних властивостей матеріалу.

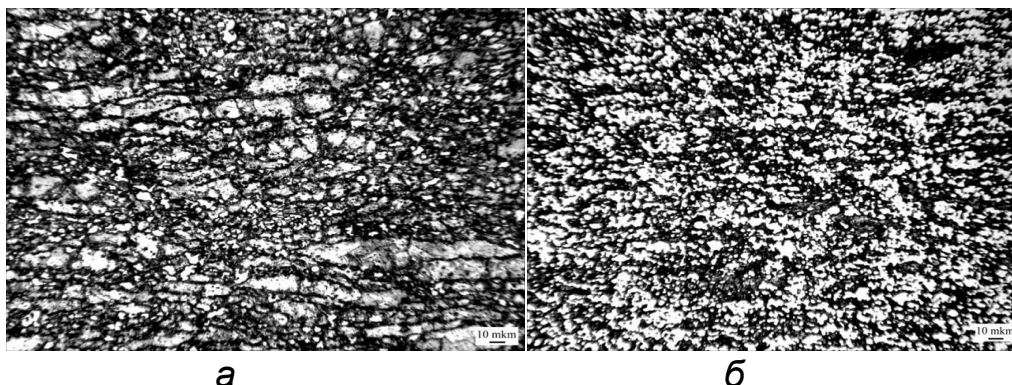


Рис. 1. Мікроструктура гарячештапованих при 1200°C карбідосталей X17H2–7,5% об. Cr_3C_2 (а), 30% об. Cr_3C_2 (б), відпалених при 1150°C.

Досліджено закономірності процесів фазо- і структуроутворення методом локального рентгенівського мікроаналізу на мікрозонді MS-46 фірми Самеса, в об'ємі консолідованих зразків зносокорозійностійких карбідосталей – «хромиста сталь – карбід хрому» за умов їх попереднього розмелу-змішування. Результати аналізу і середній склад фаз у карбідосталі приведено на рис. 2.

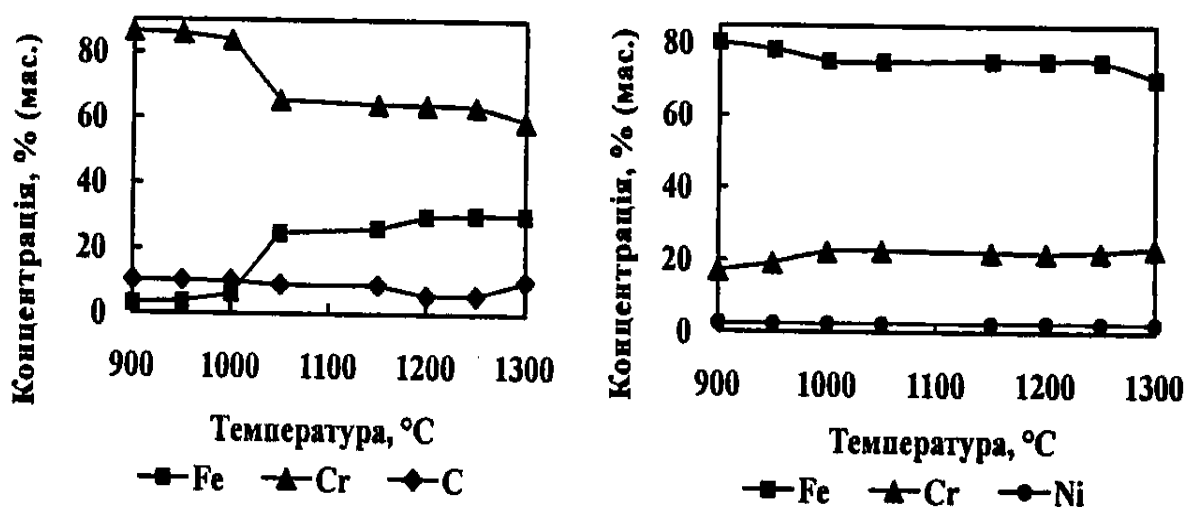


Рис. 2. Середній склад карбідів (а) і зерен матриці (б) в спеченому при різних температурах зразку карбідосталі X17H2-15% об. Cr_3C_2 .

Механізм розчинення карбіду хрому в сталевій матриці подібний до механізму розчинення Cr_3C_2 у залізній матриці і його можна уявити в такій послідовності: одностороння дифузія хрому і вуглецю в сталеву матрицю і заліза в карбід, збіднення карбіду Cr_3C_2 по вуглецю і у зв'язку з цим перекристалізація спочатку в карбід Me_2C (900 °C), потім, при підвищенні температури спікання до

1050 °C – в гексагональний карбід Me_7C_3 . При подальшому підвищенні температури до 1200 °C – в Me_{23}C_6 . При розплавленні зразку при 1300 °C з рідкої фази викристалізовується карбід Me_2C . Помітною відмінністю від систем $\text{Fe}-\text{Cr}_3\text{C}_2$, є те, що вказана серія фазових перетворень проходить в усіх частинках карбіду хрому одночасно і повністю, а не по межі, що викликано попередньою механоактивацією і підвищеною дисперсністю карбідної фази [4, 5].

Вибірковий мікрорентгеноспектральний аналіз карбідосталей X13M2–(15, 30)% об. Cr_3C_2 показав, що в карбідосталях на основі X13M2 механізм взаємодії проходить подібно карбідосталям на основі сталі X17H2. Деякою особливістю мікроструктури карбідосталі X13M2–15% об. Cr_3C_2 є утворення карбіду Me_3C після розплавлення зразка при 1300 °C. Карбідосталь X13M2–30% об. Cr_3C_2 після спікання при температурі 1300 °C відрізняється збереженням карбіду Me_{23}C_6 поряд з новоутвореним карбідом Me_3C . Що можна пояснити наявністю молібдену, який є активним карбідоутворюючим елементом.

Дані рентгенофазових досліджень на дифрактометрі «Дрон-3» в $\text{Co}-\text{K}_\alpha$ -випромінюванні показали, що вихідні порошки сумішей X17H2, X13M2 з 15% об. Cr_3C_2 мають дефектність кристалічної ґратки, що в подальшому впливає на структуроутворення і на механічні властивості карбідосталей.

Проведене дослідження дозволило встановити методом рентгенівського аналізу фазовий склад карбідосталей, спечених при температурах 1150, 1200, 1250, 1300 °C. При температурі спікання 1150 °C зразки мають у своєму складі карбіди Cr_7C_3 і Me_7C_3 , з підвищенням температури спікання до 1200 °C та до 1250 °C (рис. 3) – в структурі наявні залишки Me_7C_3 та з'являється складний карбід Me_{23}C_6 .

При температурі спікання 1300 °C утворюється фаза Me_2C в карбідосталі X17H2– Cr_3C_2 , а в карбідосталі X13M2– Cr_3C_2 викристалізовується фаза Me_3C , також спостерігаються сліди Me_{23}C_6 . Отримані результати співпадають з результатами мікрорентгеноспектрального аналізу і свідчать про активну взаємодію карбідів хрому зі сталевою матрицею.

Результати рентгенофазових досліджень зразків X17H2 з Cr_2C_3 , отриманих імпульсним гарячим пресуванням свідчать про успадкований вплив розмелу на формування тонкої структури в цих зразках. Нагромадження напруження в зразках збільшує інтенсивність протікання дифузійних процесів при формуванні карбідосталей, такий вплив викликає також накопичення мікродефектів в зразках, що проявляється в підвищеному рівні твердості (81–82 HRA).

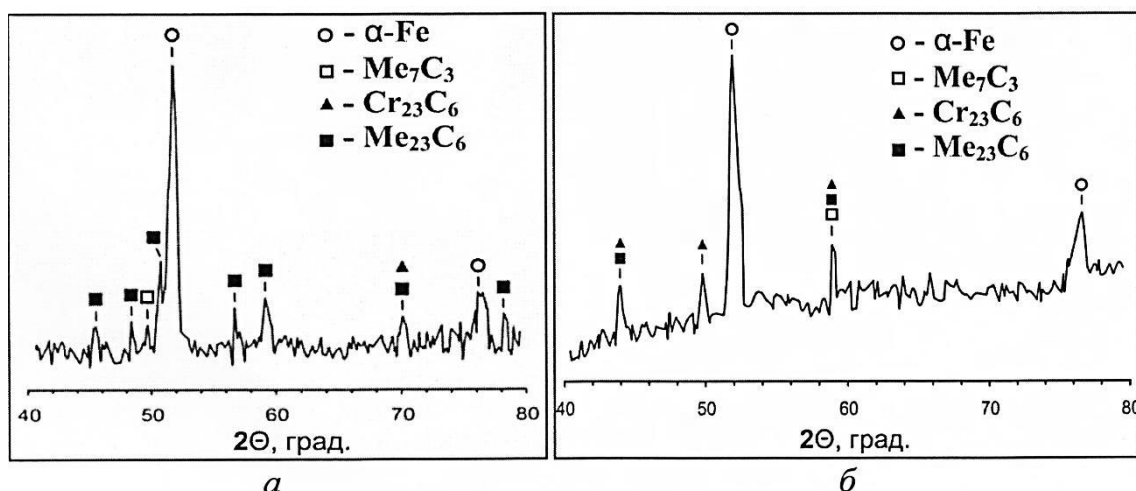


Рис. 3. Дифрактограма карбідосталей Х17Н2 об. 15% Cr_3C_2 , (а) та Х13М2 – 15% об. Cr_3C_2 (б), спечених при температурі 1250 °С.

Автори здійснили дослідження механічних властивості, зносо- та корозійної стійкості карбідосталей «хромиста сталь- Cr_3C_2 ». Дослідження залежності міцності на вигин спечених карбідосталей від вмісту Cr_3C_2 показали, що при його введенні міцність збільшується, порівняно з вихідними сталями (Х17Н2, Х13М2), в усьому температурному інтервалі спікання, досягаючи своїх максимальних значень 1450–1470 МПа при температурах спікання 1200 і 1250 °С (рис. 4). Твердість карбідосталі на основі Х17Н2 з підвищенням вмісту Cr_3C_2 і температури спікання зростає і досягає максимуму (74 HRA) після спікання при 1300 °С (рис. 5). Карбідосталі на основі Х13М2 з 30% об. Cr_3C_2 мають найвищу твердість (80 HRA) після спікання при 1250 °С, що обумовлено близьким розташуванням складу до мартенситної області, що характеризує структурна діаграма Шефлера [6].

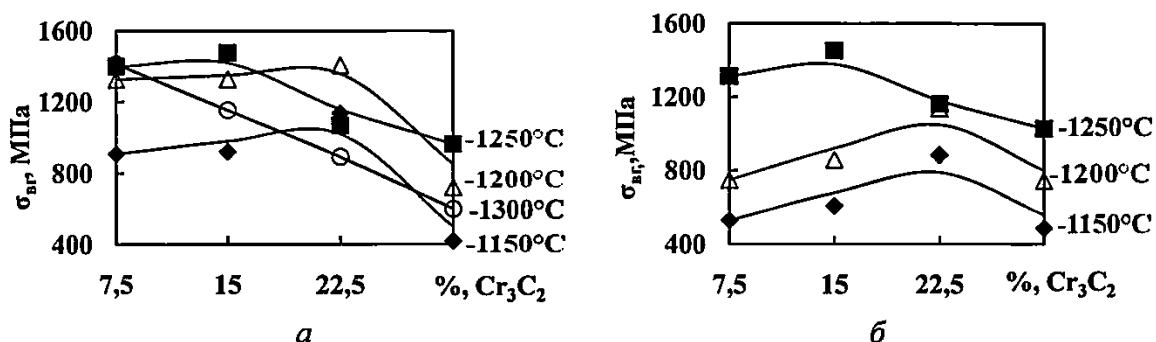


Рис. 4. Залежність міцності на вигин карбідосталі від вмісту карбиду хрому при різних температурах спікання: а) сталь Х17Н2; б) сталь Х13М2.

Деяке падіння механічних властивостей карбідосталей з 15% об. карбиду хрому в інтервалі температур отримання 1150–1200 °С

можна пояснити тим, що така кількість твердої фази при вказаних температурах знеміцнює сталевий каркас. При кількості карбідосталі Cr_3C_2 22,5% об. її склад наближається до евтектичного і у якого, при даних температурах, утворюється значна кількість рідкої фази, інтенсифікуються процеси масоперенесення, що приводить до зростання механічних властивостей. При 30% об. Cr_3C_2 , за рахунок зростання кількості карбідної фази спостерігається підвищення твердості при зниженні міцності на вигин.

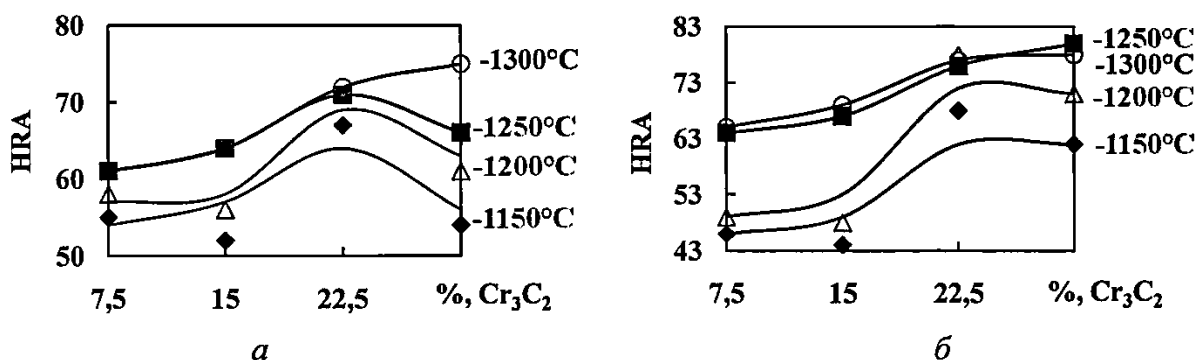


Рис. 5. Залежність твердості карбідосталі від вмісту карбіду хрому при різних температурах спікання: а) сталь X17H2; б) сталь X13M2.

Карбідосталь X17H2–44% об. Cr_3C_2 , отримана ІГП має твердість 80–82 HRA але характеризується невисокою міцністю на вигин (400 МПа). Це обумовлено підвищеним вмістом Cr_3C_2 і значною крихкістю матеріалу. Зменшення кількості карбіду хрому в карбідосталях, отриманих ІГП, підвищує міцність на вигин до 1350 МПа при збереженні твердості на рівні 79–80 HRA. Це можливо викликано також використанням розпиленого, а не отриманого гідридно-кальцієвим відновленням, порошку сталі X17H2.

Найбільший вплив на міцність і твердість карбідосталей на основі сталі X17H2 отриманих ГШ, спричиняє наступне відпалювання при 1150°C (рис. 6). Це можна пояснити посиленням адгезії між частинками металевої і карбідної фаз, а також зняттям напруг і дифузійною взаємодією між карбідами і матрицею.

Зіставлення результатів дослідження механічних властивостей карбідосталей, отриманих різними методами дозволяє зробити висновок, що застосування ГШ приводить до підвищення твердості карбідосталей в 1,2 рази порівняно зі спеченими карбідосталями на основі X17H2, що обумовлено інтенсивною термомеханічною дією ГШ і призводить до проявлення ефекту термомеханічної обробки. Міцність на вигин карбідосталей, отриманих ІГП знаходиться на нижчому рівні і складає 400 МПа. У карбідосталей, отриманих спіканням і гарячим штампуванням міцність одного рівня (1410–

1470 МПа), хоча ГШ карбідосталі отримані при нижчих температурах попереднього нагрівання ніж спечені.

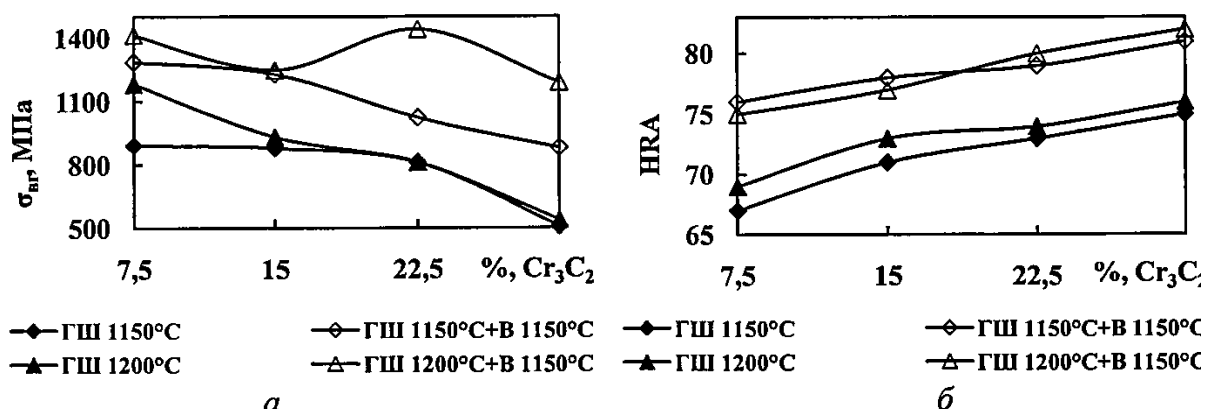


Рис. 6. Залежність міцності на вигин (а) та твердості (б) карбідосталі від вмісту карбіду хрому, отриманих гарячим штампуванням (ГШ) і ГШ з наступним відпалюванням (В).

Дослідження залежності тріщиностійкості карбідосталей отриманих за оптимальними режимами від вмісту карбіду хрому показало, що, як і передбачалось, збільшення кількості твердої складової, поряд зі зростанням твердості, приводить до зменшення тріщиностійкості карбідосталей (рис. 7).

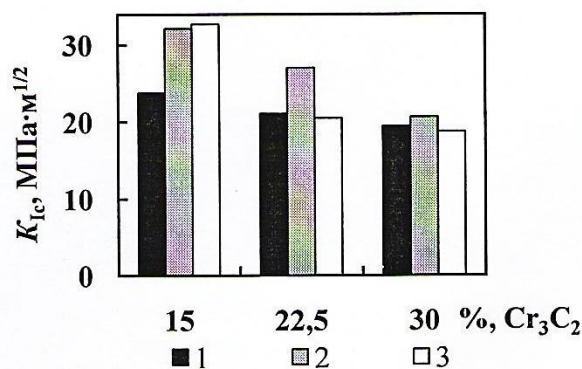


Рис. 7. Тріщиностійкість карбідосталей з різним вмістом Cr_3C_2 при оптимальних температурах отримання: 1 – X17H2- Cr_3C_2 (отримано ГШ при 1200 °C); 2 – X17H2- Cr_3C_2 (отримано спіканням при 1250 °C); 3 – X13M2- Cr_3C_2 (отримано спіканням при 1250 °C).

В'язкість руйнування спечених карбідосталей з різною основою знаходиться приблизно на одному рівні, а деяке її падіння в карбідосталі X13M2-22,5% об. Cr_3C_2 можна пояснити підвищенням мікротвердості основи до ~4,5 ГПа і в цілому макротвердості карбідосталі до 78 HRA. Це відбувається у зв'язку з утворенням рідкої фази за рахунок близького до евтектичного складу, що інтенсифікує дифузію вуглецю і хрому в основу, а заліза в карбіди.

Карбідосталі, отримані гарячим штампуванням, мають дещо нижчий рівень в'язкості руйнування, ніж спечені карбідосталі аналогічного складу. Така закономірність спостерігається до вмісту карбиду хрому 22,5% об. включно, далі їх тріщиностійкість вирівнюється і знаходиться в межах 19–21 (МПа · м^{1/2}).

Дещо нижчу в'язкість руйнування гарячештампованих карбідосталей можна пояснити нагартованістю структури. За рахунок цього ми маємо підвищенні значення твердості 79-82 HRA, що приводить до падіння величини в'язкості руйнування. Підсумовуючи, можна зазначити, що тріщиностійкість досліджених карбідосталей знаходиться на достатньо високому рівні, наприклад, тріщиностійкість твердого сплаву ВК21 – 11–13 (МПа · м^{1/2}), сталі Р18 – 21 (МПа · м^{1/2}).

Досліджено стійкість карбідосталей проти абразивного зношування по закріпленим частинкам в парі з алмазним кругом. Випробування показали, що зносостійкість спечених зразків з порошкових сталей Х17Н2 і Х13М2 низька і підвищення навантаження більше 0,6 МПа призводить до їх катастрофічного зношування [7]. Введення Cr₃C₂ підвищує стійкість до зношування спечених матеріалів в ~20 разів, порівняно з вихідними сталями. Коефіцієнт тертя карбідосталей на основі Х17Н2-(7,5–30% об.) Cr₃C₂ знижується при збільшенні навантаження (рис. 8, а). Найменш зносостійкою є карбідосталь з 7,5% об. Cr₃C₂, а найбільш зносостійкими – карбідосталі з високим вмістом карбиду (рис. 8,б).

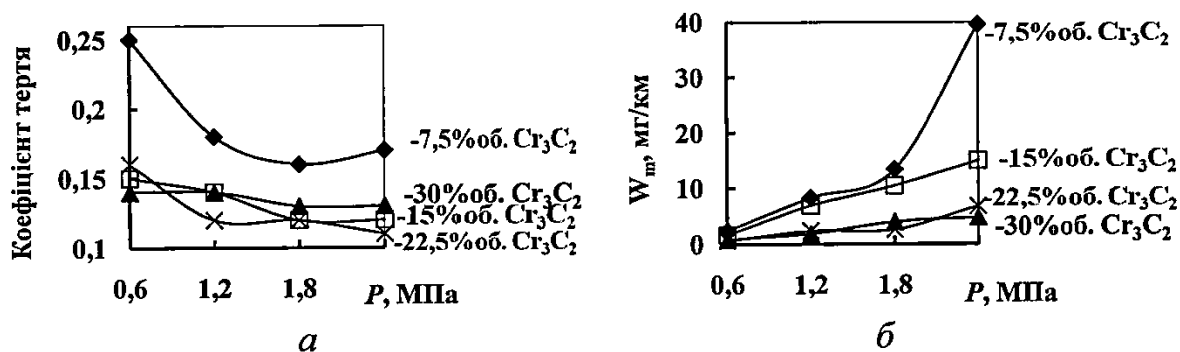


Рис. 8. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х17Н2 з різним вмістом Cr₃C₂, отриманих спіканням (1_{сп} = 1250 °С).

Карбідосталі на основі Х13М2 мають зносостійкість в 1,5–3 рази вищу, порівняно з карбідосталлю Х17Н2-Cr₃C₂. Це можна пояснити наявністю 2% молібдену, що підвищує дифузійну рухливість хрому і приводить до збільшення його концентрації в приповерхневих шарах і що, як відомо, підвищує зносостійкість (рис. 9, а, б).

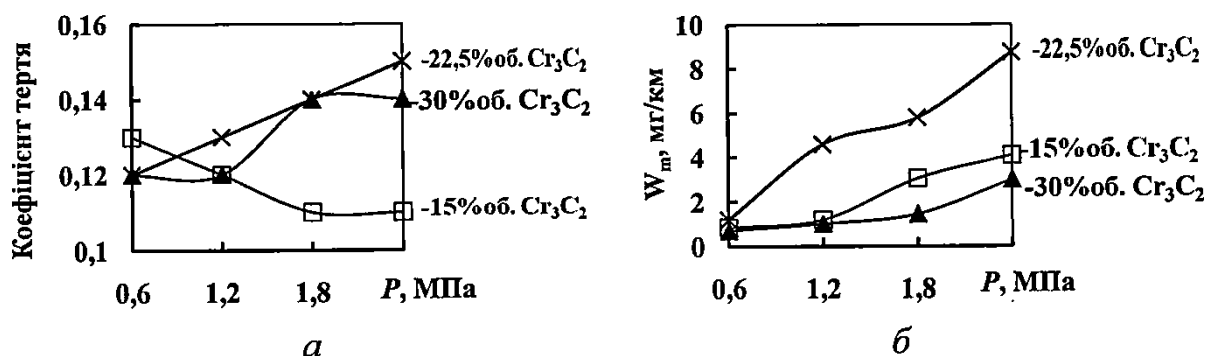


Рис. 9. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х13М2 з різним вмістом Cr_3C_2 , отриманих спіканням ($t_{\text{сп}} = 1250^\circ\text{C}$).

Результати досліджень абразивної зносостійкості зразків із сталі Х17Н2 (отриманих ІГП) показали, що в них спостерігається катастрофічне зношування вже при навантаженні 0,6 МПа. Введення в шихту карбідних домішок істотно змінює характер зносостійкості, підвищуючи її в ~50 разів. Порівняння зносостійкості карбідосталей показує, що інтенсивність зношування карбідосталі з Cr_3C_2 в 13,5 разів менше ніж карбідосталі з TiC . Це може бути пов'язано з вищою концентрацією Cr в металевій складовій карбідосталі з Cr_3C_2 , також можливо, за рахунок малої інтенсивності взаємодії TiC зі сталевою основою та слабого адгезійного зв'язку між частинками карбиду титану і матрицею.

Дослідження зносостійкості зразків отриманих ГШ, показали, що введення карбиду хрому підвищує зносостійкість в 10 разів, порівняно з вихідною сталлю. Зі збільшенням вмісту Cr_3C_2 стійкість карбідосталі проти абразивного зношування росте (рис. 10,б). Коефіцієнт тертя для сталі Х17Н2 і карбідосталей з 7,5 і 15% об. Cr_3C_2 дещо зростає зі збільшенням навантаження, а для карбідосталей з високим вмістом Cr_3C_2 він зменшується (рис. 10,а).

Зіставлення величини масового зношування сталей Х17Н2, Х13М2 і карбідосталей на їх основі показали, що зносостійкість карбідосталей, отриманих спіканням, ІГП і ГШ в десятки разів перевищує зносостійкість вихідних сталей, і підвищується зі збільшенням кількості карбідної складової. Коефіцієнт тертя карбідосталей, на відміну від сталей, зменшується при збільшенні навантаження при абразивному зношуванні. Зношування по закріпленім абразивним частинкам є дуже жорстким процесом, при якому проходить пряме руйнування поверхневого шару і в цьому випадку зносостійкість та коефіцієнт тертя визначається механічними властивостями матеріалу та його опором від прямого руйнування.

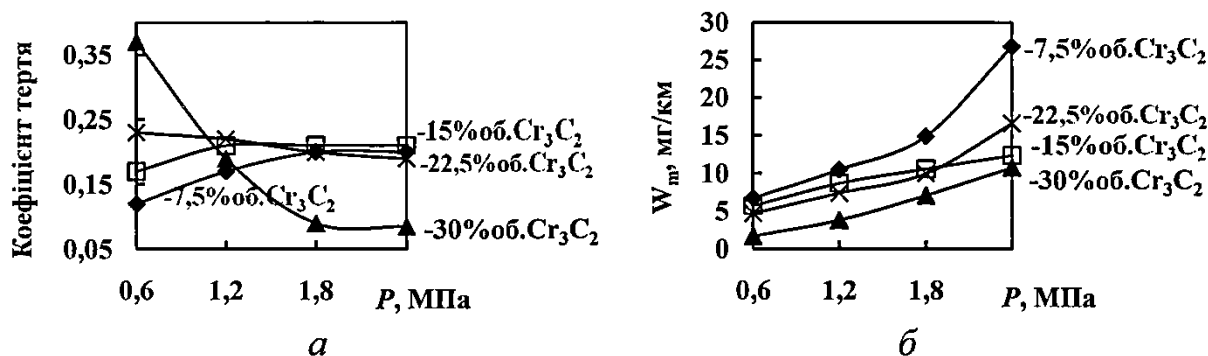


Рис. 10. Залежність коефіцієнта тертя (а) і масового зношування (б) від навантаження зразків карбідосталей на основі Х17Н2 з різним вмістом Cr_3C_2 , отриманих ГШ 1200 °С + В 1150 °С.

Карбідосталі з 7,5% об. Cr_3C_2 мають низький рівень зносостійкості, порівняно з карбідосталями (15-30% об. Cr_3C_2), не залежно від методу отримання. Це скоріше за всього викликано особливістю мікроструктури, де спостерігаються значні розміри металевої фази (середній розмір 35 мкм) та наявність пористості до 12%. Збільшенні вмісту карбиду приводить до росту зносостійкості, що викликано збільшенням долі твердої складової за рахунок гетерофазної взаємодії з основою та подрібненням розміру металевої фази, що в умовах абразивного зношування по закріпленим частинкам приводить до підвищення зносостійкості.

Досліджували корозійну стійкість матеріалів в 3%-ному розчині NaCl , 30%-ному розчині NaOH та 20%-ному розчині HNO_3 при кімнатній температурі. Корозійні середовища обирали виходячи з літературних даних по корозійній стійкості вихідних сталей та передбачуваних сферах застосування.

Дослідження показали, що корозійна стійкість спечених зразків карбідосталей Х17Н2 і Х13М2 з 15% об. Cr_3C_2 в 30%-ному розчині NaOH досягає 10 балу (повністю стійкий). Мабуть, карбідні присадки, що активно взаємодіють при спіканні з сталеву основою, підвищують в ряді випадків корозійну стійкість матеріалів. При збільшенні вмісту Cr_3C_2 до 30% об. вона зменшується до 3-4 балу (понижено стійкий). У 3%-ному розчині NaCl тільки карбідосталі з 22,5% об. Cr_3C_2 мають 10 бал, інші склади мають 2-3 бал (слабостійкий) (табл. 1).

За корозійною стійкістю в 20%-ному розчині HNO_3 карбідосталі на основі Х17Н2 та Х13М2 відносяться до класу слабо та понижено стійких, це свідчить, що введення карбідів знижує корозійну стійкість матеріалу в даному корозійному середовищі. Карбідосталь з 30% об. Cr_3C_2 є нестійкою в даному розчині і має 1 бал корозійної стійкості, це можна пояснити, з одного боку, достатньо високою пористістю (до

7%) та інтенсивною взаємодією твердої складової з основою, що приводить до дифузії вуглецю в сталь і утворення мартенситоподібних структур (мікротвердість основи складає 2,1–4,1 ГПа), що знижує корозійну стійкість матеріалу в цілому [8, 9].

1. Корозійна стійкість спечених карбідосталей.

Номер зразка	Склад, %		Відносна густина ρ , %	Корозійні властивості					
				30%-ний NaOH		3%-ний NaCl		20%-ний HNO ₃	
	сталь	Cr ₃ C ₂		П, мм/рік	Бал*	П, мм/рік	Бал	П, мм/рік	Бал
1	X17H2	7,5	0,95	0,06	4	0,48	3	0,54	2
2	X17H2	15	0,96	0,00	10	0,26	3	0,09	4
3	X17H2	22,5	0,95	0,28	3	0,00	10	0,03	4
4	X17H2	30	0,93	0,49	3	0,36	3	2,53	1
5	X13M2	15	0,93	0,00	10	0,33	3	0,11	4
6	X13M2	22,5	0,95	0,41	3	0,00	10	0,06	4
7	X13M2	30	0,97	0,03	4	0,59	2	0,31	2

* за десятибальною шкалою.

Корозійна стійкість карбідосталей X17H2-44% об. Cr₃C₂, отриманих ІГП у вакуумі знаходиться на рівні 3-го балу (слабостійкий) в досліджених розчинах. Це обумовлено значним нагартуванням структури.

Корозійна стійкість карбідосталей, отриманих ГШ, в 30%-ному розчині NaOH сягає 10 балу (повністю стійкий) до вмісту карбиду хрому 15% об. включно, але при подальшому підвищенні вмісту Cr₃C₂ корозійна стійкість падає до 4-го балу (понижено стійкий). У 3%-ному розчині NaCl спостерігається протилежна ситуація, відносно невисоку корозійну стійкість, на рівні 3-го балу (слабо стійкий), має карбідосталь з 7,5% об. Cr₃C₂ (табл. 2), а карбідосталі з (15–30% об.) Cr₃C₂ мають 10-й бал стійкості проти корозії. В 20%-ному розчині HNO₃ сталь X12H2 має 1 бал (нестійкий), а карбідосталь X12H2-15% об. Cr₃C₂ – 2 бал (слабостійкий), інші склади карбідосталей мають 3-й (слабостійкий) бал корозійної стійкості.

2. Корозійна стійкість карбідосталей, отриманих гарячим штампуванням

Номер зразка	Склад, %		Відносна густина ρ , %	Корозійні властивості					
				30%-ний NaOH		3%-ний NaCl		20%-ний HNO ₃	
	сталь	Cr ₃ C ₂		П, мм/рік	Бал*	П, мм/рік	Бал	П, мм/рік	Бал
1	X17H2	7,5	0,99	0,00	10	0,14	3	0,81	2
2	X17H2	15	0,99	0,00	10	0,00	10	0,25	3
3	X17H2	22,5	0,99	0,09	4	0,00	10	0,16	3
4	X17H2	30	0,98	0,09	4	0,00	10	0,16	3

* за десятибальною шкалою.

Таким чином, корозійна стійкість карбідосталей значною мірою визначається вибірковою здатністю зовнішньої дії на складові компоненти матеріалу. В умовах, коли стійкість фази карбиду перевищує стійкість сталевий зв'язки до дії реагентів, загальна стійкість сплавів карбід – сталь збільшуватиметься зі зниженням вмісту сталі. У протилежному випадку спостерігатиметься зворотна картина.

Нами приведено аспекти практичного використання результатів досліджень. На рис. 11 представлено запропоновану технологічну схему виготовлення зносокорозійних вставок для молотків кормодробарок.

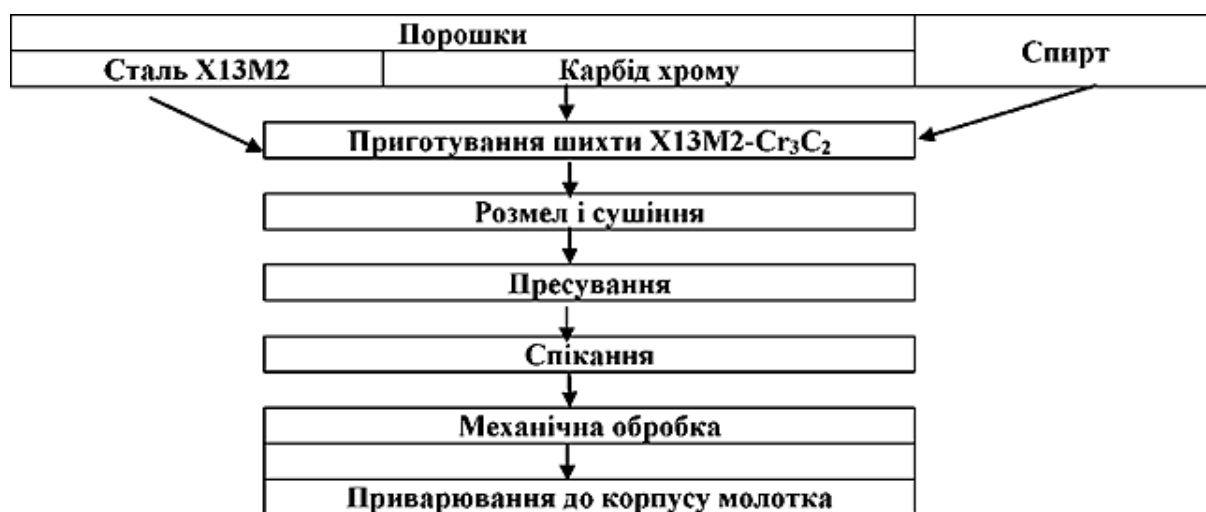


Рис. 11. Технологічна схема виготовлення «модульних вставок» до молотків кормодробарок.

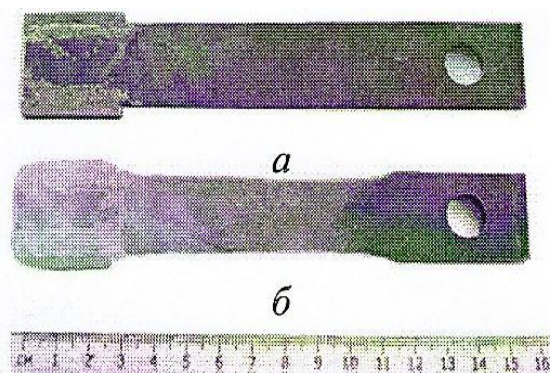


Рис. 12. Молоток дробарки БМК-1 зі вставками із карбідосталі X13M2-30% об. Cr₃C₂, з'єднаних електрозварюванням (а-до випробовувань; б-після виробничих випробовувань).

Експлуатаційні випробування молотків проводили на кормодробарці БМК-1 при помелі фуражного зерна. Одночасно з молотками, армованими вставками зі X13M2-30% об. Cr₃C₂ (рис. 12),

випробовували молотки з базового матеріалу з термообробленої сталі 65Г. Зносостійкість молотків визначали за зміною їх маси. Виробничі випробування показали підвищення довговічності експериментальних молотків, армованих вставками із карбідосталі Х13М2-30% об. Cr_3C_2 , в 2–2,5 рази та покращення технологічної операції подрібнення кормів в порівнянні з серійними молотками зі сталі 65Г [10].

За результатами випробувань, які проводили в навчально-дослідному господарстві при Національному університеті біоресурсів і природокористування України, молотки, армовані вставками із сплаву Х13М2-30% об. Cr_3C_2 рекомендовані до використання у складі дробарок кормів БМК-1.

Висновки

1. На основі систем «хромисті сталі Х17Н2, Х13М2- Cr_3C_2 , а також даних діаграм стану Cr-Fe-C, результатів мікроструктурного, мікрорентгеноспектрального і фазового аналізів та досліджень фізико-механічних властивостей, зносостійкості і корозійних характеристик розроблено порошкові зносокорозійностійкі матеріали: Х13М2-(15–30% об.) Cr_3C_2 і Х17Н2-(7,5–30% об.) Cr_3C_2 конструкційного призначення.

2. Проведено виробничі випробування молотків кормоподрібнювачів, армованих вставками із розроблених карбідосталей Х13М2–30% об. Cr_3C_2 у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція». Випробування показали підвищення довговічності експериментальних молотків в 2–2,5 рази та покращення технологічної операції подрібнення кормів в порівнянні з серійними молотками зі сталі 65Г.

Список літератури

1. Петрова А.М. Структурообразование при отжиге композиции Т- Cr_3C_2 / А.М. Петрова, И.Д. Радомысльский, С.В. Титаренко // Порошковая металлургия. – 1974. – №1. – С. 85–89.
2. Радомысльский И. Твердые сплавы из порошков карбида хрома и чугуна / И. Радомысльский, В. Клименко. – К.: Информационный листок, 1961. – №12.
3. Клименко В.Н. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / В.Н. Клименко, В.А. Маслюк, Ю.В. Самброс. / Порошковая металлургия. – 1986. – №8. – С. 39–43.
4. Маслюк В.А. Упрочнение быстрорезающих поверхностей безвольфрамовыми твердыми сплавами и карбидо-содержащими сталями / В.А. Маслюк, С.Г. Напара-Волгина, Р.В. Яковенко // Международный научно-технический семинар «Современные проблемы подготовки, производства, заготовительного производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении» (21–23 февраля 2006 года). – Свалява, Украина. – С. 103–105.
5. Маслюк В.А. Упрочнение быстрорезающих поверхностей безвольфрамовыми твердыми сплавами и карбидо-содержащими сталями /

В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, С.Г. Напара-Волгина, Р.В. Яковенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение, 2007. – №1. – С. 42–48.

6. *Маслюк В.А. Износо-коррозионностойкие композиционные материалы на основе нержавеющей стали для узлов трения машин и механизмов / В.А. Маслюк, С.Г. Напара-Волгина, Л.Н. Орлова, В.К. Кудь, Р.В. Яковенко // Порошковая металлургия в автотракторном машиностроении. Сварка и резка материалов. Материалы, технологии и оборудование для нанесения функциональных защитных покрытий» (26–30 марта 2007 года). – Минск. – С. 85–86.*

7. *Яковенко Р.В. Механические и трибологические свойства износостойких карбидосталей системы сталь- Cr_3C_2 / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, В.Т. Варченко, Д.Н. Бродниковский // Тезисы доклада II-й международной самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений» (18-20 мая 2010 года). – К., Украина. – С. 91.*

8. *Яковенко Р.В. Трибологические и физико-механические свойства износостойких композитов на основе коррозионностойких сталей / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, В.Т. Варченко, Д.Н. Бродниковский // Международный специализированный научно-технический семинар «Композиционные фрикционные материалы: свойства, производство, применение (25–26 мая 2010 года). – Минск. – С. 122–130.*

9. *Яковенко Р.В. Влияние способа получения на структуру и свойства карбидостали с добавками карбида хрома / Р.В. Яковенко, В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, А.Е. Куцевский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – 2010. – №10 (152). – Ч. 1. – С. 281–284.*

10. *Патент №45567 Україна, МПК(2009), B22/F 7/02. Молоток для кормодробарок / В.Д. Войтюк, М.І. Денисенко, О.О. Котречко, В.А. Маслюк, Р.В. Яковенко, Т.В. Олійник ; заявлено 17.07.2009 ; опубл. 25.12.2009, Бюл. №24.*

В статье установлено закономерности получения износостойких порошковых материалов типу карбидосталей на основе систем «хромистая сталь-карбид хрома» и разработка деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Рабочие органы, абразивное изнашивание, хромистая сталь, композиционные материалы, долговечность, карбид хрома.

In paper conformities to law of receipt of wearproof powder-like materials are set to type of karbidostaley on basis of systems «chromic steel-carbide of chrome» and development of details of workings organs of agricultural machines.

Workings organs, abrasive wear, chromic steel, composition materials, longevity, carbide of chrome.

УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНОЇ УСТАНОВКИ ДОЇЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

І.І. Ревенко, доктор технічних наук
Ю.І. Ревенко, кандидат технічних наук

Приведено аналіз існуючих та розробка ряду нових технічних рішень, які сприяють підвищенні ефективності і надійності роботи вакуумних установок доїльних агрегатів.

Вакуумна установка, насос, камера, вакуумний балон, ефективність.

Постановка проблеми. Доїння сільськогосподарських тварин є одним з найвідповідальніших і досить трудомістких процесів у технології виробництва молока.

Його ефективність в значній мірі визначається технічною досконалістю засобів механізації, що при цьому використовуються, та дотриманням діючих правил машинного доїння.

До складу доїльного обладнання крім основних елементів (вакуумна установка з вакуумною магістраллю, вакуумні крани та доїльні апарати) можуть входити також молокопровідна система, засоби обліку, очищення та охолодження молока тощо.

Енергетичним (силовим) елементом є вакуумна установка, яка включає насос з приводом, фільтр-глушник, вакуумний балон, вакуумметр і вакуумрегулятор (рис. 1).

Вона повинна створювати вакуумметричний тиск повітря заданих параметрів, можливість їх регулювання, контролю та стабілізації. Саме таке повітряне середовище забезпечує нормальну роботу виконавчих елементів доїльних машин – доїльних апаратів, а також транспортування видоєного молока (у доїльне відро чи загальним молокопроводом в молочне відділення) тощо.

І від конструктивно-технологічної досконалості вакуумних установок залежить ефективність роботи всього доїльного обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Огляд і порівняльна оцінка існуючих доїльних установок, свідчить про доцільність використання в їх складі ротаційних пластинчатих насосів як силового елемента. Порівняно з іншими вони мають досить високий коефіцієнт корисної дії (0,8–0,9) низьку енергоємність (0,06–0,06 кВт год/м³), простоту конструкції і обслуговування, можливість безпосереднього з'єднання з електродвигуном.

© І.І. Ревенко, Ю.І. Ревенко, 2015

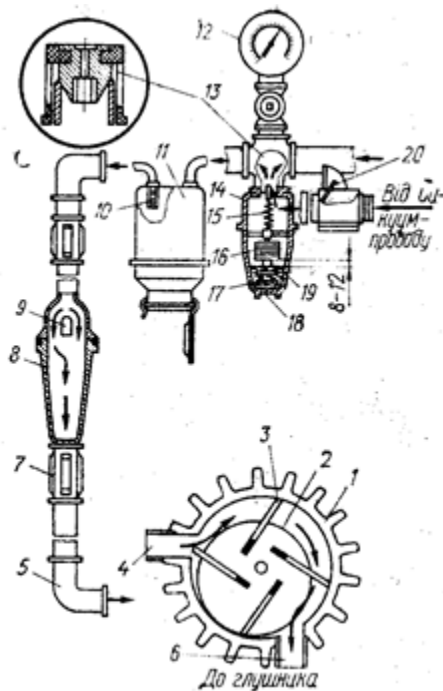


Рис. 1. Вакуумна установки ВУУ-60/45 [1]: 1 – корпус насоса; 2 – ротор; 3 – лопатка; 4 – впускний патрубок; 5 – коліно; 6 – випускний патрубок; 7 – муфта; 8 – запобіжник; 9 – зворотний клапан; 10 – клапан-поплавець; 11 – вакуумний балон; 12 – вакуумметр; 13 – клапан регулятора; 14 – корпус вакуумрегулятора; 15 – пружина; 16 – вага; 17 – демпферний диск; 18 – стакан; 19 – олива; 20 – індикатор витрат.

В сучасних доїльних машинах найчастіше застосовують уніфіковані вакуумні установки ВУУ-60/45 (рис. 1) з ротаційним насосом, який може працювати в двох режимах продуктивності – 60 та 45 м³/год. Проте ці вакуумні установки мають певні конструкційні недосконалості, які знижують ефективність їх роботи.

Так, впускний і випускний патрубки насоса до робочої камери розміщені (в площині поперечного перерізу) близько до радіального напрямку. При цьому протяжність (в напрямі обертання ротора) впускного та випускного вікон відносно невелика і близька до діаметра відповідних патрубків, а протяжність зони стискання повітря помітно збільшена і становить майже 180°. Недоліком такого рішення є зменшення продуктивності та підвищення енергозатрат.

Впускний та випускний патрубки вакуумного балона розміщені паралельно і зверху корпусу. Це не повною мірою сприяє очищенню повітря перед видаленням його через вакуумний насос, в результаті чого знижується його довговічність.

Мета досліджень – підвищення ефективності і довговічності роботи вакуумної установки, шляхом удосконалення конструкції її елементів.

Результати досліджень. Проведений аналіз і узагальнення відомих технічних рішень [1-5] і результатів досліджень [6-11] робочого процесу вакуумних насосів ротаційного типу стосовно обґрунтування їх конструкційно-технологічних параметрів дозволяють відмітити, що для досягнення поставленої мети доцільно внести такі зміни в конструкцію вакуумної установки:

- робочу камеру вакуумного насоса в поперечному перерізі виконати овальною за формою (рис. 2). Така форма робочої камери дозволяє збільшити площу її живого перерізу в зоні впускного патрубку [12] і цим самим сприяє підвищенню продуктивності насоса при тих же значеннях діаметра ротора і частоти його обертання;

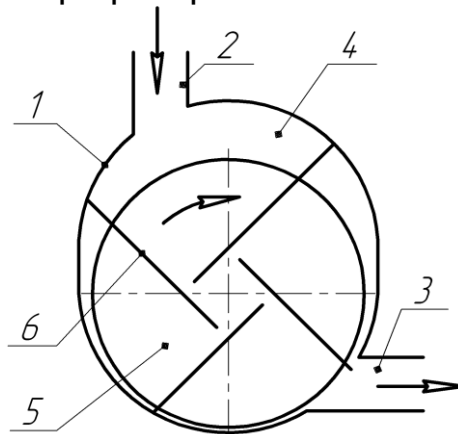


Рис. 2. Схема вакуумного насоса з робочою камерою овальної форми: 1 – корпус; 2 – впускний патрубок; 3 – випускний патрубок; 4 – робоча камера; 5 – ротор; 6 – лопатка.

- впускний і випускний патрубки розмістити по дотичній до робочої камери (за ходом обертання ротора в площині її поперечного перерізу) та збільшити протяжність впускного і випускного вікон до такої величини, щоб кути між впускним та випускним вікнами становили не менше 90° (рис. 3). При цьому і протяжність вказаних вікон також досягне близько 90° за кутом обхвату робочої камери [13]. Розміщення впускного і випускного патрубків відносно робочої поверхні по дотичній саме по собі дозволяє дещо збільшити протяжність відповідних вікон в напрямку обертання ротора і сприяє надходженню в камеру і видаленню з неї повітря. Крім того, в результаті збільшення протяжності вказаних вікон підвищуються час і коефіцієнт заповнення камери повітрям, а також скорочується протяжність зони стискування повітря і зменшується його опір. Всі ці рішення будуть сприяти підвищенню продуктивності насоса і зниженню затрат енергії в процесі його роботи;

- у вакуумному балоні, який містить корпус циліндричної форми впускний патрубок слід розміщати збоку і по дотичній до циліндра корпусу, а випускний патрубок встановлювати зверху по осі циліндра

корпусу (рис. 4). Розміщення впускного патрубку збоку і по дотичній до циліндра корпусу сприяє відцентровому відділенню від повітря механічних включень (за принципом циклона), а центральне осьове розміщення випускного патрубку зверху корпусу – забезпечує видалення очищеного повітря з найчистішої і найспокійнішої зони балона [14]. Саме в результаті цього і досягається поліпшення умов роботи і підвищення довговічності вакуумного насоса.

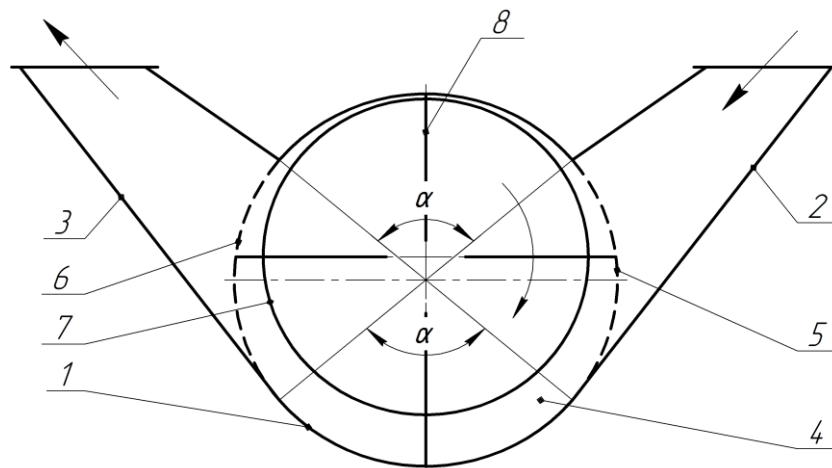


Рис. 3. Схема розміщення впускного та випускного вікон в робчій камері вакуумного насоса: 1 – корпус; 2 – впускний патрубок; 3 – випускний патрубок; 4 – робоча камера; 5 – впускне вікно; 6 – випускне вікно; 7 – ротор; 8 – лопатки.

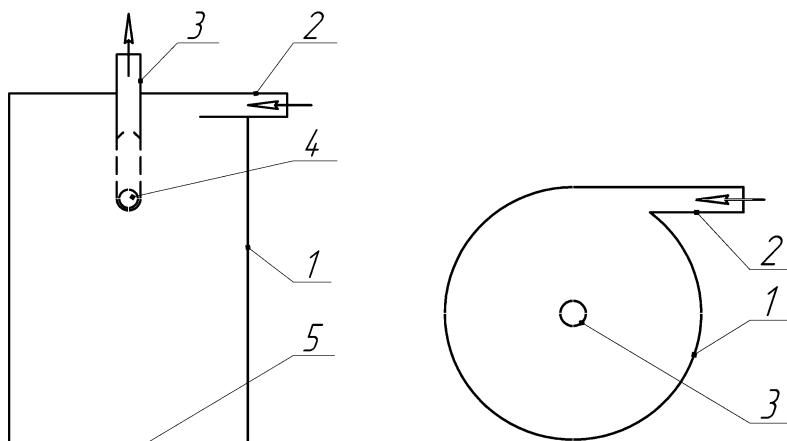


Рис. 4. Схема вакуумного балона у вертикальному (зліва) та поперечному (справа) перерізах: 1 – корпус; 2 – впускний патрубок; 3 – випускний патрубок; 4 – кульовий клапан; 5 – зливна кришка.

Висновки

Для підвищення ефективності (збільшення продуктивності, зниження енерговитрат та підвищення довговічності) роботи вакуумної установки необхідно:

- створювати умови максимально можливого заповнення робочої камери насоса повітрям та збільшити площу живого перерізу останньої в зоні впускного патрубка;
- скорочувати протяжність зони стискування повітря та створювати умови максимального видалення його з насоса в зоні випускного патрубка;
- підвищувати ефективність очищення повітря вакуумним балоном перед потраплянням його в робочу камеру вакуумного насоса.

Список літератури

1. *Посібник-практикум з механізації виробничих процесів у тваринництві* / [І.І. Ревенко, В.М. Манько, С.С. Зарайська та ін. ; за ред. І.І. Ревенка]. – К.: Урожай, 1994. – 288 с.
2. *Мжельский Н.И.* Вакуумные насосы для доильных установок / *Н.И. Мжельский*. – М.: Машиностроение, 1974. – 151 с.
3. *Патент 46831 (Україна).* Вакуумний пластинчасто-роторний насос / *А.О. Парієв, С.І. Павленко, С.В. Дубовенко, В.Ю. Дудін*. – 11.01.2010, Бюл. № 1.
4. *Руткевич И.Г.* Вакуум-насосные установки в пищевой промышленности / *И.Г. Руткевич*. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 147 с.
5. *Хлумский В.П.* Ротационные компрессоры и вакуумнасосы / *В.П. Хлумский*. – М.: Машиностроения, 1971. – 125 с.
6. Бинеев Р.Э. Исследование конструкции ротационного вакуумного насоса доильных установок с целью повышения его надежности: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Ростов на Дону, 1980. – 28 с.
7. *Дудін В.Ю.* Обґрунтування параметрів ротаційного пластинчатого вакуумного насоса індивідуальних доїльних установок : Автореф. дис. канд. техн. наук / *В.Ю. Дудін*. – Глеваха, 2013. – 20 с.
8. *Похваленский В.П.* Исследование вакуумных насосов доильных установок / *В.П. Похваленский* // Научные труды ВИЭСХ. – 1974. – Т. 16. – С. 27.
9. *Салманис А.Я.* Результаты исследований некоторых параметров ротационного пластинчатого вакуумного насоса для доильных машин / *А.Я. Салманис* // Научные труды ЦНИИМЭСХ. – 1976. – Вып. 15. – С. 185–191.
10. *Соломатин П.И.* Исследование и обоснование параметров работы вакуумных насосов доильных установок в высокогорных условиях : Автореф. дис. канд. техн. наук / *П.И. Соломатин*. – Алма-Ата, 1982. – 28 с.
11. *Стукалин Ф.Г.* Расчет производительности вакуумного насоса доильной установки роторно-пластинчатого типа / *Ф.Г. Стукалин* // Научные труды Ижевского СХИ. – 1974. – Вып. 24. – С. 93–96.
12. *Патент № 72465 (Україна).* Вакуумний насос доїльної установки / *І.І. Ревенко, Ю.І. Ревенко*. – 27.08.2012, Бюл. № 16.
13. *Патент № 94701 (Україна).* Вакуумний насос доїльної установки / *І.І. Ревенко, Ю.І. Ревенко*. – 25.11.2014, Бюл. № 22.
14. *Патент № 70036 (Україна).* Вакуумний балон доїльної установки / *І.І. Ревенко, Ю.І. Ревенко*. – 25.05.2012, Бюл. № 10.

Приведен анализ существующих и предложено ряд новых технических решений, которые содействуют повышению эффективности и надежности работы вакуумных установок доильных агрегатов.

Вакуумная установка, насос, камера, вакуумный баллон, эффективность.

The analysis of the existing technical solutions is shown and there are proposed a number of new technical solutions that improve the performance and reliability of the vacuum systems of milking machines.

Vacuum system, pump, camera, vacuum balloon, effectiveness.

УДК 669.017.002

ВПЛИВ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ В ЦЕМЕНТОВАНОМУ ШАРІ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ

О.Є. Семеновський, кандидат технічних наук

Виявлені закономірності впливу розподілу внутрішніх напружень в поверхневому зміцненому прошарку деталей після цементації та гартування, на рівень контактної втомної міцності сталі. Встановлено, що екстремальний характер зміни стискаючих внутрішніх напружень провокує виникнення концентраторів напружень, які спричиняють зародження мікротріщин, що знижує експлуатаційні властивості сталі.

Цементация, гартування, стискаючі напружения, эксплуатационные свойства, пitting.

Постановка проблеми. В результаті проведення зміцнюючої хіміко-термічної обробки в деталях, як на поверхні, так і в серцевині, утворюються залишкові напруження, величина і напрямки яких визначаються процесами, що відбуваються при охолодженні. Залишкові напруження можуть знижувати чи підвищувати конструктивну міцність, тому аналіз характеру їх розподілення в поверхневому прошарку зміцнених деталей надасть можливість визначати загальний рівень експлуатаційних властивостей цементувальних сталей.

Аналіз останніх досліджень. Можна стверджувати, що залишкові напруження будуть бажаними в тому випадку, коли їх напрямок буде протилежним напрямку напружень, що виникають у процесі експлуатації виробів.

Відомо [1, 2], що наявність стискаючих напружень на поверхні деталей підвищує втомну міцність і, навпаки, наявність розтягуючих

© О.Є. Семеновський, 2015

напружень, її знижує. У цьому зв'язку деталі, що піддаються в процесі експлуатації високим контактним знакозмінним навантаженням, свідомо піддають зміцнюючим обробкам, за допомогою яких можна створити на поверхні деталі стискаючі напруження [1].

На величину і напрямок залишкових напружень можна впливати шляхом зміни коефіцієнта розміцнення сталі в перший період мартенситного перетворення, в залежності від вмісту вуглецю, кількості залишкового аустеніту й умов охолодження [2].

Якщо розглядати залишкові напруження з погляду фізико-механічних властивостей стиснутого матеріалу, то за інших рівних умов, вони будуть зменшуватися зі зниженням границі плинності, коефіцієнта термічного розширення, з підвищенням структурної однорідності, зниженням температури рекристалізації, зменшенням релаксаційної стійкості і, нарешті, зменшенням розходження в питомих об'ємах структурних складових сталі у вихідному та зміцненому станах [3, 4].

Встановлено, що зниження швидкості охолодження в температурному інтервалі протікання мартенситного перетворення в значній мірі зменшує залишкові напруження. Так, при переході від гартування у воді до гартування в маслі, залишкові напруження зменшуються в 4–6 разів, при гартуванні на повітрі – у 10 разів, при переході від гартування в маслі до гартування в гарячих середовищах – у 3–4 рази [4]. Однак при цьому не пов'язується рівень внутрішніх напружень з експлуатаційними властивостями матеріалу, а визначаються лише технологічні характеристики, такі як тріщиностійкість та рівень деформації.

Виходячи з того, що в процесі підвищення температури відпуску попередньо загартованої сталі підвищується ефективність зниження залишкових напружень, то наслідком цього буде зниження зносостійкості, яка прямо залежить від поверхневої твердості.

Мета досліджень. Встановити закономірності впливу величини та характеру внутрішніх напружень в поверхневому зміцненому прошарку деталей після хіміко-термічної обробки, на рівень контактної втомної міцності сталі.

Результати досліджень. З метою визначення величини внутрішніх напружень у зміцненому шарі комплексно-легованих сталей після хіміко-термічної обробки застосовувалася методика виміру прогину зразка після видалення визначеної товщини зміцненого шару. Для проведення досліджень були виготовлені зразки, що представляють собою бруски прямокутного перерізу 10×14 мм (рис. 1). Зразки були зміцнені хіміко-термічною обробкою, яка включала цементацію при температурі 930°C на протязі 10 годин, та гартування в оливі з низьким відпуском (200°C на протязі 2-х годин). Глибина це-

ментації складала 0,9...1,1 мм. Щоб на точність виміру не впливали внутрішні напруження в бічних гранях зразків, вони були зішліфовані на глибину 2 мм.

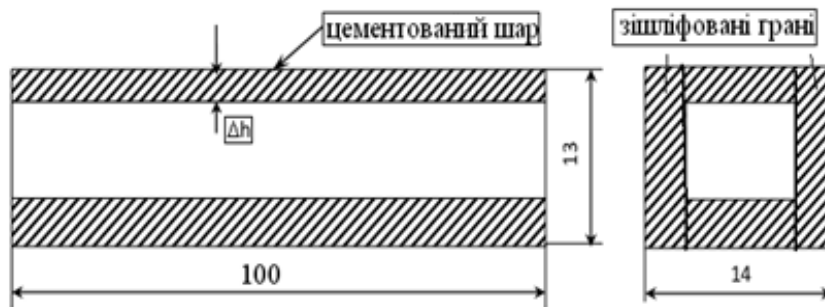


Рис. 1. Ескіз зразка для досліджень внутрішніх напружень.

Суть методу виміру внутрішніх напружень полягає в тому, що у вихідному стані напруження на двох протилежних сторонах зразка взаємно рівноважуються.

При видаленні зміцненого шару з однієї з граней на визначену глибину, зразок вигинається під дією внутрішніх напружень зміцненого шару протилежної сторони.

Для зменшення впливу механічних факторів на точність досліджень при знятті зміцненого шару застосовувався метод багаторазового травлення 20% спиртовим розчином азотної кислоти.

При виведенні формули для розрахунку величини внутрішніх напружень виходили із залежності крутного моменту, що згинає брусок, викликаного неврівноваженими напруженнями стиску в напрямку подовжньої осі бруска після видалення визначеного шару з протилежної сторони зразка і механічними властивостями матеріалу, виходячи з цього:

$$M_x = \frac{E_I \cdot I}{\rho}, \quad (1)$$

де: M_x – крутний момент; E_I – модуль пружності першого роду; I – момент інерції перерізу бруска; ρ – радіус прогину зразка.

Зазначені величини визначають з наступних рівнянь:

$$M_x = \frac{N_x \cdot h}{2}; \quad (2)$$

$$I = \frac{bh^3}{12}; \quad (3)$$

$$\rho = \left(\frac{l}{2}\right)^2 + (\rho - \Delta x)^2; \quad (4)$$

де: N_x – зусилля, викликане напруженням стиску в напрямку подовжньої осі бруска;

x – величина прогину після видалення прошарку, у якому визначаються напруження;

h – товщина бруска після зняття прошарку, у якому визначають напруження;

b – ширина бруска;

l – довжина бруска;

зважаючи на те, що:

$$\sigma_H = \frac{N_x}{b\Delta h} \quad (5)$$

де: σ_H – напруження в досліджуваному прошарку;

$b\Delta h$ – площа перерізу видаленого прошарку;

можемо вивести наступну залежність для визначення внутрішніх напружень у зміцнених прошарках:

$$\sigma_H = \frac{4E \cdot h^2 \cdot \Delta x}{3l^2 \cdot \Delta h} \quad (6)$$

Для підвищення точності запропонованого методу при вимірі прогину використовувався інструментальний мікроскоп УИМ-1, що забезпечує точність вимірів до 10^{-4} мм.

Розподіл напружень у цементованному шарі після хіміко-термічної обробки досліджувався шляхом з травлення поверхонь зразків з однієї сторони в розчині азотної кислоти, з наступним ручним шліфуванням, для зняття окисної плівки. Після декількох циклів травлення вимірювалась товщина зразка, а за цим показником визначалась глибина з травленого прошарку, в якому і визначалась сумарна величина залишкових внутрішніх напружень, що є наслідком процесів, які відбуваються при гартуванні.

Для встановлення взаємозв'язку напруженості поверхневого зміцненого шару з іншими параметрами, котрі визначалися в ході вивчення процесів, що відбуваються при термічній обробці деталей, для дослідження величини залишкових напружень у зміцненому шарі, були обрані сталі з тими ж композиціями легуючих елементів, що і для визначення прогартуваності і механічних властивостей [5]. Результати обмірювання зразків після з травлення частини цементованного шару, а також розрахунків внутрішніх напружень у вилучених прошарках металу, зведені в табл. 1.

Найбільші напруження на поверхні має сталь 15ХГН4, в порівнянні з нею сталь 12ХН3А має нижчий рівень залишкових напружень, що пояснюється зниженням ступеню її легування. Найнижчі залишкові напруження в поверхневому шарі сталі 15ХГН, яка містить найменшу кількість нікелю. У розробленій нами сталі 15ХГНБТЧ напруження в поверхневому шарі нижчі, ніж у високолегованої сталі 15ХГН4 і знаходяться майже на одному рівні із серійною сталлю

12ХН3А. Про порівняння ступеню легованості цих сталей важко говорити, тому що титан і ніобій у малих кількостях значно сильніше зміцнюють сталь, ніж нікель.

1. Розподіл внутрішніх напружень у зміцненому шарі.

Марка сталі	Глибина вимірювання, мм	Зміна прогину, мкм	Напруження σ_B , кПа
12ХН3А	0,1	21,1	86,7
	0,3	19,4	78,4
	0,5	10,9	41,8
	0,7	4,1	16,2
	0,9	1,2	4,3
15ХГН4	0,1	23,8	98,2
	0,3	22,9	90,2
	0,5	9,8	38,2
	0,7	3,9	14,9
	0,9	1,5	5,2
15ХГН	0,1	9,9	46,5
	0,3	6,6	27,9
	0,5	5,5	22,7
	0,7	1,7	6,7
	0,9	1,1	3,5
15ХГНБТЧ	0,1	19,7	79,9
	0,3	11,0	43,7
	0,5	5,3	20,7
	0,7	1,1	4,0
	0,9	0,1	0,4
18ХГТ	0,1	15,3	63,2
	0,3	13,9	55,4
	0,5	3,7	14,2
	0,7	3,6	13,5
	0,9	1,1	4,0

Підтвердженням цих міркувань може бути порівняння рівнів залишкових напружень у сталей 15ХГН і 18ХГТ, з меншим вмістом легуючих елементів. Як бачимо сталь, що містить лише 0,05% титану, має в 1,5 рази вищий рівень внутрішніх напружень у поверхневому шарі, ніж сталь з 1% нікелю. Однак, якщо порівнювати величину внутрішніх напружень у комплексно-легованій сталі 15ХГНБТЧ і сталі легованій трьома відсотками нікелю – 12ХН3А з їх механічними властивостями [5], то тут є деякі невідповідності, тобто сталі з практично

однаковою величиною внутрішніх напружень мають різний рівень характеристик міцності.

Це пояснюється тим, що механічні характеристики визначалися згідно стандартним методикам випробувань на зразках зміцнених об'ємним гартуванням і низьким відпуском, а поверхневий шар, у якому визначалися внутрішні напруження, був зміцнений цементациєю і, як наслідок, відрізнявся і хімічним складом, і структурою.

Крім того, відповідно до робочої гіпотези, величина залишкових внутрішніх напружень повинна бути зв'язана саме з мікротвердістю структури поверхневого зміненого прошарку. Але якщо ми порівняємо отримані дані з результатами досліджень контактної втомної міцності сталі, отриманими в лабораторних умовах (6), то ми побачимо невідповідність результатів цих досліджень. У всякому разі, коли за критерій визначення напружень приймати їх максимальну величину на поверхні. Однак, на контактну втомну міцність, яка є визначальною характеристикою експлуатаційних властивостей шестерень впливають напруження, що виникають у всьому поперечному перерізі, а також, як свідчать подальші дослідження, характер зміни цих напружень.

З цієї причини в нашій роботі напруження визначалися не тільки на поверхні, але й по всій глибині зміцненого шару. Для вивчення характеру зміни абсолютної величини залишкових внутрішніх стискаючих напружень були побудовані графічні залежності (рис. 2).

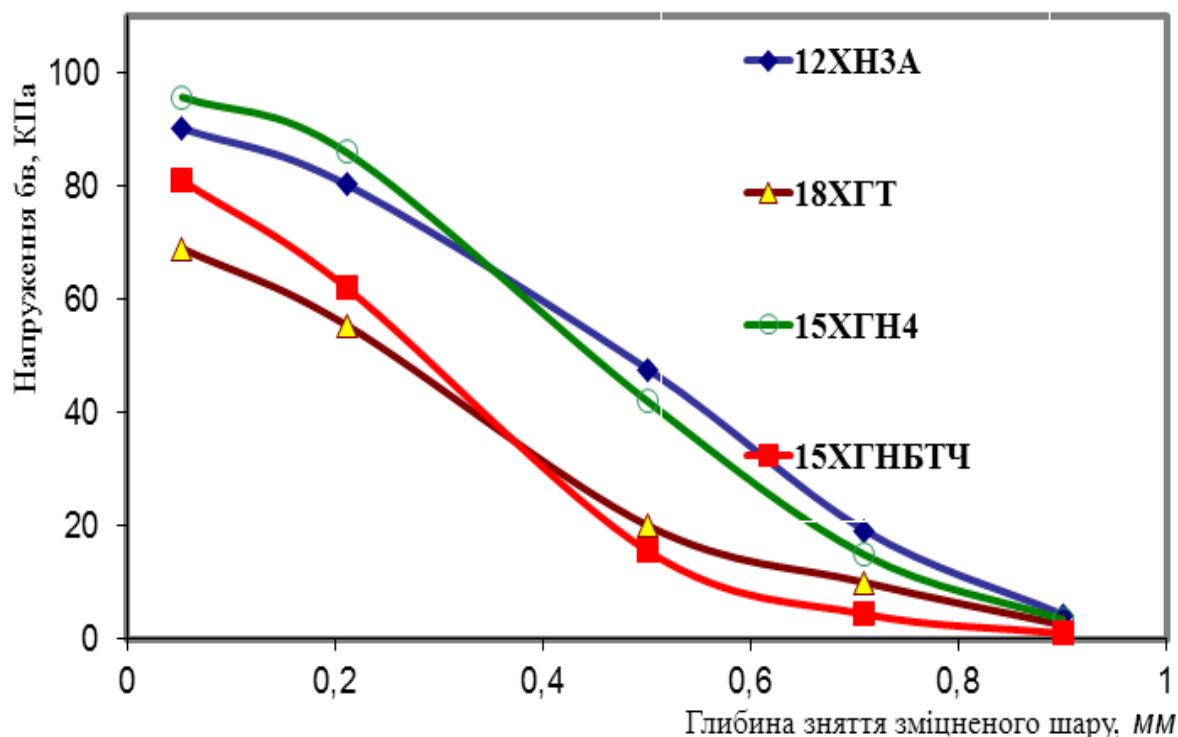


Рис. 2. Розподіл залишкових стискаючих напружень у зміцненому шарі.

Характер отриманих кривих дозволяє говорити про те, що комплексно-легована сталь 15ХГНБТЧ має більш різке зниження рівня напружень, по мірі віддалення від поверхні, у порівнянні з рештою досліджених нами композицій цементувальних сталей.

Комп'ютерна обробка сумарної величини напружень усього зміцненого шару показала, що цей показник у сталі 12ХН3А значно вищий, ніж у сталі легованої меншою кількістю нікелю, але з додатковим введенням таких легуючих елементів, як титан і ніобій, які утворюють карбідну фазу, стійку до високих температур.

Проведені нами мікроструктурні дослідження (201), показали значно більшу дисперсність структурних складових сталі 15ХГНБТЧ, що має найбільш високий рівень контактної втомної міцності в порівнянні з рештою досліджених нами композицій цементувальних сталей. Аналіз отриманих кривих, які описують зміну залишкових внутрішніх напружень вказує на те, що сталь яка має більш рівномірний характер зниження напруженого стану від поверхні до серцевини (тобто крива має більш пологий характер, наближаючись до прямої) має і найвищий рівень експлуатаційних властивостей.

Це пояснюється тим що, якщо зміна напружень має поступовий характер, без різких змін, що характеризується графічно відсутністю перепадів, екстремумів на кривих, то вірогідність виникнення концентраторів напружень в поверхневому зміцненому прошарку значно нижча. А саме наявність концентраторів напружень призводить до зародження і розповсюдження тріщин, які є причиною контактної втоми матеріалу поверхні деталі – пітингу.

Однак рекомендувати цю характеристику для визначення експлуатаційних характеристик сталі недоцільно з двох причин. По-перше, величина залишкових внутрішніх напружень лише побічно пов'язана з характеристиками структурних складових, які отримуємо в процесі термічної обробки, і є некерованим параметром стану поверхні. По-друге, її визначення пов'язане зі значними технічними складнощами. У той же час, як якісна характеристика, вона підтверджує отримані нами результати при дослідженні експлуатаційних властивостей сталей з різними композиціями легуючих елементів. Хоча з точки зору об'ємних характеристик матеріалу цей параметр має визначальне значення, особливо з точки зору тісного зв'язку цієї величини з твердістю поверхневих зміцнених шарів та зі зносостійкістю матеріалів.

Висновок. В роботі встановлена залежність стійкості сталі проти утворення пітингу від характеру зміни внутрішніх напружень, отриманих в процесі хіміко-термічної обробки. Отримані результати свідчать, що якщо рівень напруженості в цементованому прошарку знижується поступово, що характеризується графічно відсутністю

екстремумів на кривих, то вірогідність виникнення концентраторів напружень в поверхневому зміцненому прошарку значно нижча.

Список літератури

1. Кузьмин Г.К. Формирование остаточных напряжений при мартенситном превращении стали / Г.К. Кузьмин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1986. – № 2. – С. 7–11.
2. Абрамов В.В. Влияние разупрочнения стали в начальный период мартенситного превращения на образование остаточных закалочных напряжений / В.В. Абрамов, А.П. Романиченко, О.Г. Зорькин, К.А. Коваленко, А.Л. Шишканова // Запорожский машиностроительный институт. – 1998. – II с. – Библиогр. – Деп. в ГНТБ Украины 13.07.96. – № 1474 – Ук 93.
3. Башнин Ю.А. Технология термической обработки / Ю.А.Башнин. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 3–99.
4. Pan H.H., Weng G.J. Thermal stress and volume change during a cooling process involving phase transformation // I. Therm.Stresses. – 1992. – 15, № 1. – С. 1–23.
5. Семеновський О.Є. Підвищення механічних характеристик низько вуглецевої сталі шляхом подрібнення зернової структури / О.Є. Семеновський // Металознавство та обробка металів. – 2013. – №1. – С. 120–123.
6. Семеновський О.Є. Утворення та ріст тріщин під час контактної втоми сталей / О.Є. Семеновський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2000. – №4. – С. 120–121.

Выявлены закономерности влияния распределения внутренних напряжений в поверхностной упрочненной прослойке деталей после цементации и закалки, на уровень контактной прочности стали. Установлено, что экстремальный характер изменения сжимающих внутренних напряжений провоцирует возникновение концентраторов напряжений, которые провоцируют зарождение микротрещин, которые снижает эксплуатационные свойства стали.

Цементация, закалка, сжимающие напряжения, эксплуатационные свойства, пitting.

The regularities of influence of distribution of internal pressures in surface hardened layer of parts after carburizing and hardening are derived. The level of steel contact fatigue hardness is kept during experiments. It was found that extreme changes of compressive internal pressures provokes the pressures concentrators which cause forming of microcracks and that reduces the operational performance of steel.

Carburizing, hardening, compressive stress, operational performance, pitting.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СТІЛОВИХ СИСТЕМ БАШТОВИХ КРАНІВ

**Є.Г. Афтандіянц, В.С. Ловейкін, доктори технічних наук
О.Г. Шевчук, здобувач***

Розглянуті конструкції стрілових систем баштових кранів. Проведено аналіз закордонних та вітчизняних літературних досліджень щодо конструкцій стрілових систем баштових кранів. Наведено приклади моделей баштових кранів з їхніми зображеннями.

Стрілова система, виліт, конструкція, баштовий кран.

Постановка проблеми. В баштових кранах стрілові системи призначені для утримання та переміщення вантажу у необхідну зону обслуговування [1]. Існує велика кількість різноманітних за конструкцією стрілових систем баштових кранів, які на даний момент є найбільш ефективними з точки зору конструювання, експлуатації та монтування, тому вони широко застосовуються по всьому світу. Проте необхідно з'ясувати, з яких умов обирається та чи інша конструкції стрілових систем. Переваги і недоліки конструкцій стрілових систем баштових кранів розглядаються в даному дослідженні.

Аналіз останніх досліджень. У роботах [1–5] частково розглянуті конструкції стрілових систем баштових кранів. Так, наприклад у роботі [2] описана історія розвитку баштових кранів починаючи з кранів з підйомною стрілою 1940-х років. У роботах [3, 4] розглянуті конструкції шарнірно-зчленованих стрілових систем баштових кранів. Огляд конструкцій баштових кранів для спеціальних робіт був проведений у статті [5]. Конструкції баштових кранів, що вироблялись в СРСР представлені у довіднику [6].

Мета досліджень. Провести аналіз конструкції стрілових систем баштових кранів.

Результати досліджень. Перші баштові крани були оснащені підйомною стріловою системою. В Європі, після другої світової війни, були розроблені різні конструкції баштових кранів серед яких баштові крани на рейковому ході з поворотною баштою та підйомною стрілою були домінуючими. Найбільш популярними були крани виробництва Liebherr та Peiner [2].

Однак в кінці 1960-х французькі крани з горизонтальною поворотною стрілою почали замінювати традиційні крани з підйомною стрілою та поворотною баштою. Такі конструкції ранніх моделей

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© Є.Г. Афтандіянц, В.С. Ловейкін, О.Г. Шевчук, 2015

виробників фірм Potain (рис. 2), Weitz, а пізніше і Richier стали найпопулярніші. Інші Європейські виробники слідували цій тенденції. Таким чином частка баштових кранів з горизонтальною поворотною стрілою зросла з 30% в 1968 до 90% в 1972 році.

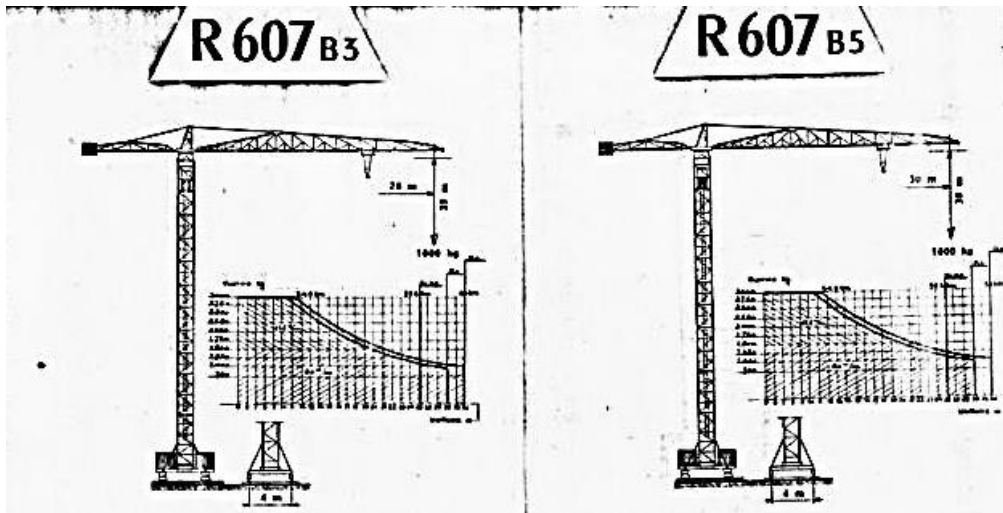


Рис. 1. Баштові крани Potain R607 B3 та R607 B5.

В 1958 році Liebherr представив «універсальний кран» баштовий кран з поворотною підйомною стрілою з гідравлічним приводом зміни вильоту (рис. 2,а). Серія кранів НВ з вантажним моментом 300 кНм до 90 кНм мала малий мінімальний виліт, що дозволяло декільком кранам працювати поруч будуючи висотні споруди. Подібний баштовий кран з піднімальною поворотною стрілою та оснащений рухомою противагою, яка приводилася в рух за допомогою канату і дизельним гідроприводом зміни вильоту, був представлений фірмою Favco в 1964 році (рис. 2,б). Такі крани працювали з вантажним моментом 1000 кНм.

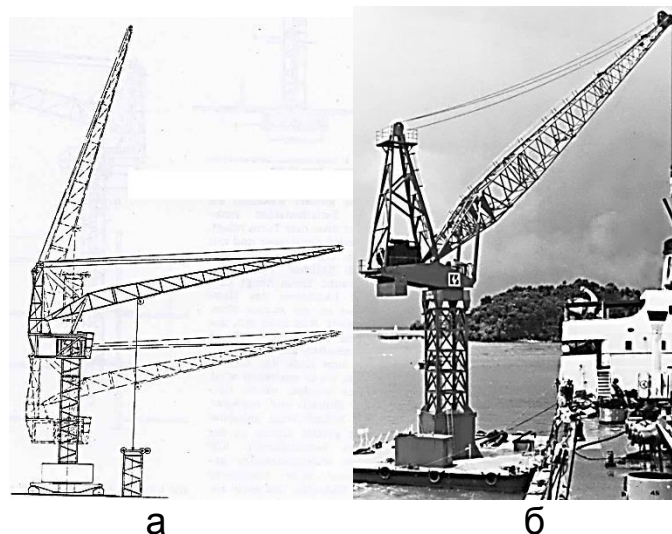


Рис. 2. Баштові крани з підйомною стрілою: а – Liebherr 500 HC-L; б – Favco STD350.

Найбільший розвиток Favco припав на 1966 рік з самопідйомним краном STD 2700 450 кНм. Вісім з цих кранів, предків всіх пізніших кранів з підйомною стрілою, допомагали зводити Світовий торговельний центр в Нью Йорку (рис. 3).



Рис. 3. Баштові крани Favco STD 2700.

Висотне будівництво в густонаселених містах Азії вимагало високої маневреності від баштового крану. Це призвело до розробки багатьох видів конструкції баштових кранів з маневреною підйомною стрілою майже кожного європейського виробника баштових кранів. Складні механічні рішення де намагались збалансувати вантажний момент від стрілової системи при зміні вильоту. Традиційна рухома, за допомогою канатів, противага була замінена масивною поворотною противагою у крані Liebherr 500 HC-L в 1985 році (рис. 4,а).

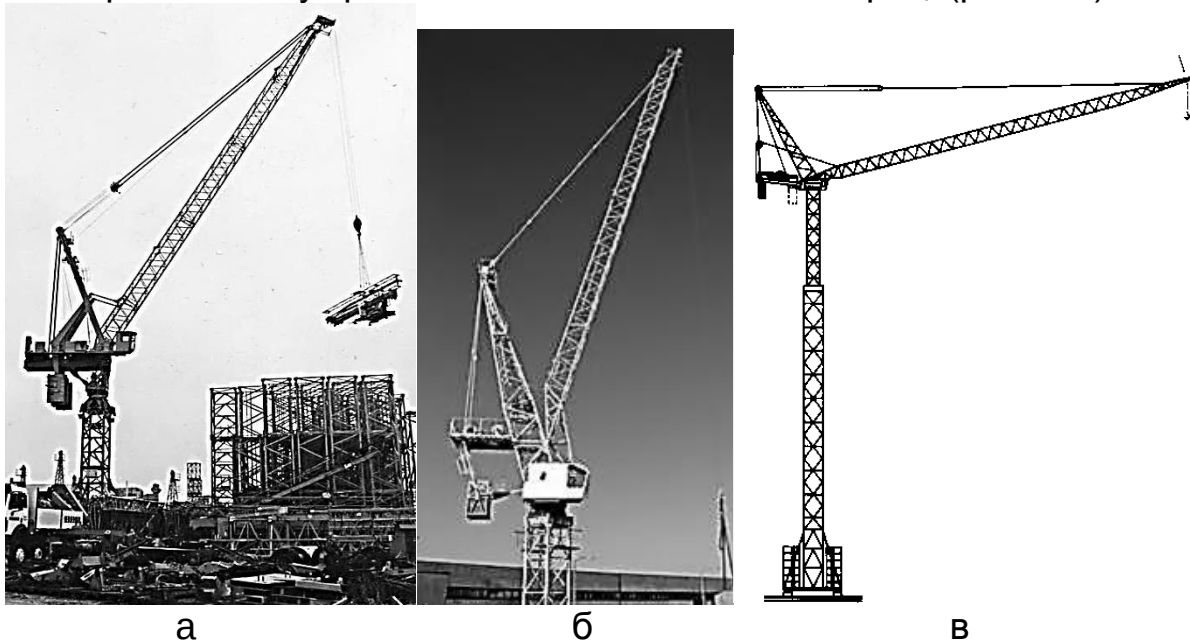


Рис. 4. Баштові крани з рухомою противагою: а – Liebherr 500 HC-L; б – BKT CTL 400; в – Potaine MR300.

ВКТ використовувала майже такий самий спосіб зрівноваження у моделях кранів з вантажним моментом більше 750 кНм, але пізніше знайшли більш безпечне і простіше рішення. В 1997 році Comedil ввів механічне з'єднання між противагою і стрілою яке проходило під поворотною платформою в баштовому крані CTL 400 (рис. 4,б).

Більш складніша система зрівноваження була розроблена і реалізована в Potaine в 1989 році на крані MR300 де противага рухається по похилих напрямних та утримується за допомогою канату(рис. 4,в). При підйомі стріли противага наближається до башти по похилих напрямних.

В 1990-х більшість виробників баштових кранів Європи відмовились від дорогого і складного способу зрівноваження підйомної стріли за рахунок переміщення противаги.

Баштові крани з підйомною стріловою системою мають низку недоліків: неможливість забезпечення строго горизонтального переміщення вантажу при зміні вильоту; необхідність підвищення потужності приводу для підймання стріли та вантажу у разі змінення вильоту; порівняно великий мінімальний виліт; значні динамічні навантаження, які виникають під час перехідних режимів руху, що призводить до розгойдування вантажу. Разом з тим баштові крани з піднімальною стріловою системою маневрені, що дозволяє використовувати їх на невеликих будівельних майданчиках, їх легше монтувати і перевозити. Вага піднімальної стрілової системи на 15–20% менша у порівнянні з балочними. Також баштові крани з такою стріловою системою використовуються для зведення висотних будівель, де значну частину роботи займає цикл підймання вантажу в порівнянні зі змінною вильоту.

Балочні стрілові системи бувають однопідвісними (рис. 5,а), двопідвісними (рис. 5,б) і багатопідвісні. Такі стрілові системи отримали розповсюдження на сучасних кранах з великими вильотами (більше 45 метрів). Також застосовують молотоподібні стріли (рис. 5,в) хоча по масі вони дещо перевищують підвісні. Їх перевага в простоті розрахунків і використанні. Основним недоліком балочних стрілових систем є низька маневреність, їх незручно застосовувати на невеликих (обмежених) будівельних майданчиках.

Maschinenfabrik Otto Kaiser KG, пізніше інтегрована в Elba завод, розробила незвичайна концепція крана, серії Kaiser HBK (рис. 6а), який в 1960 – 1970 роках дуже успішно був випробуваний.

Цей баштовий кран з поворотною стрілою об'єднав переваги баштових кранів з горизонтальною і підйомною стрілою. Основними критеріями для проектування такого крана була можливість складання горизонтальної стріли при малому вильоті. При розкладеній стріловій системі вантажний візок рухається вздовж усієї стрілової

системи і забезпечує максимальний виліт. Коли стрілова система змінює виліт надмірний радіус перетворюється в збільшення висоти підйому вантажу за хвилини без встановлення додаткових секцій стрілової системи. Конструкція такої стрілової системи особливо корисна для зведення градирень, телевізійних башт та хмарочосів. Порівнюючи з баштовим краном з підйомною стрілою така конструкція дозволяє виконувати горизонтальне переміщення вантажу і менше затрачати енергії коли зміна вильоту відбувається при переміщенні вантажного візка. Основним недоліком є відносно низька вантажопідйомність на мінімальному вильоті з піднятою стрілою.

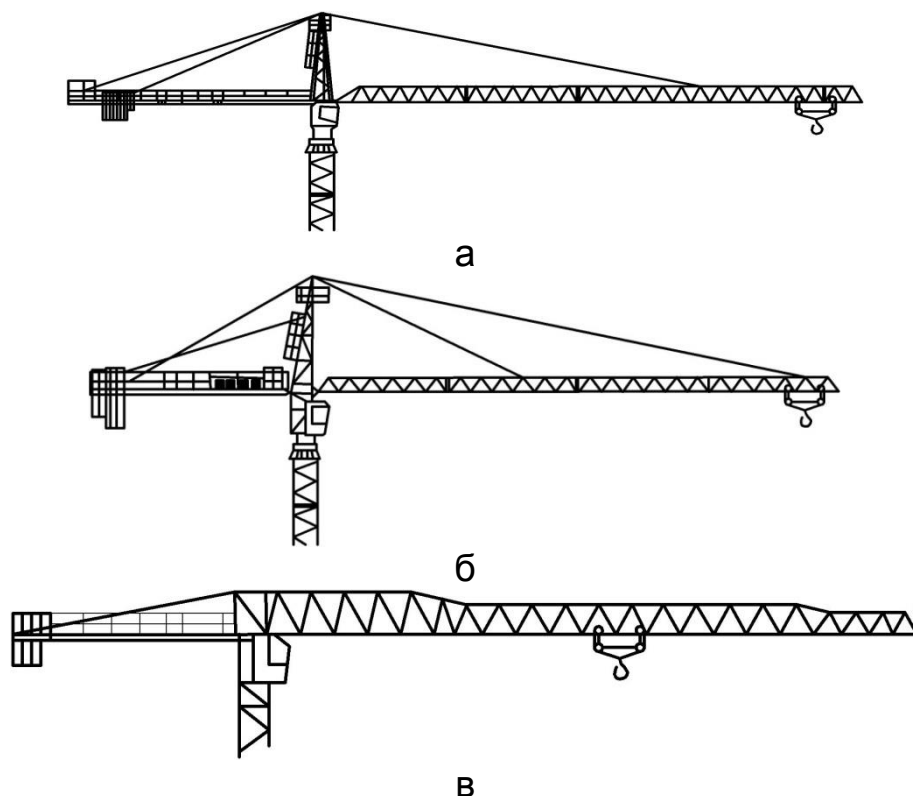


Рис. 5. Балочні стрілові системи: а – однопідвісна; б – двопідвісна; в – молотовидна.

Крани Kiser були обладнані похилою поворотною платформою для зведення башти, а секції башти досягали 12 м у висоту. Багато висотних будівельних проєктів, таких як 331,4 м (Франкфуртська телевізійна вежа) та великі градирні були збудовані кранами Kaiser HBK. При будівництві нижньої частини градирні, коли необхідно досягти великого вильоту, стрілова система баштового крану витягується в горизонтальну лінію. А при будівництві вузької верхньої частини градирні великий радіус дії вже не потрібен, тому стрілова система складається таким чином збільшуючи висоту підйому вантажу. Liebherr та Reiner (Рессо) прослідували за баштовим краном з шарнірно-зчленованою системою Kaiser. Флагманом серед таких кранів

марки Liebherr була модель 180 HC-K, використана для будівництва 150 метрової градирні в Швейцарії у 1977 році. Ще один відомий кран з шарнірно-зчленованою стріловою системою Liebherr 140 HC-K широко використовується на міських будівельних майданчиках (рис. 6,б). Peiner мав лише один кран з шарнірно-зчленованою стріловою системою марки SKK 140 (рис. 6,в), який без додаткового кріплення міг зводитись на висоту 84,4 метри.

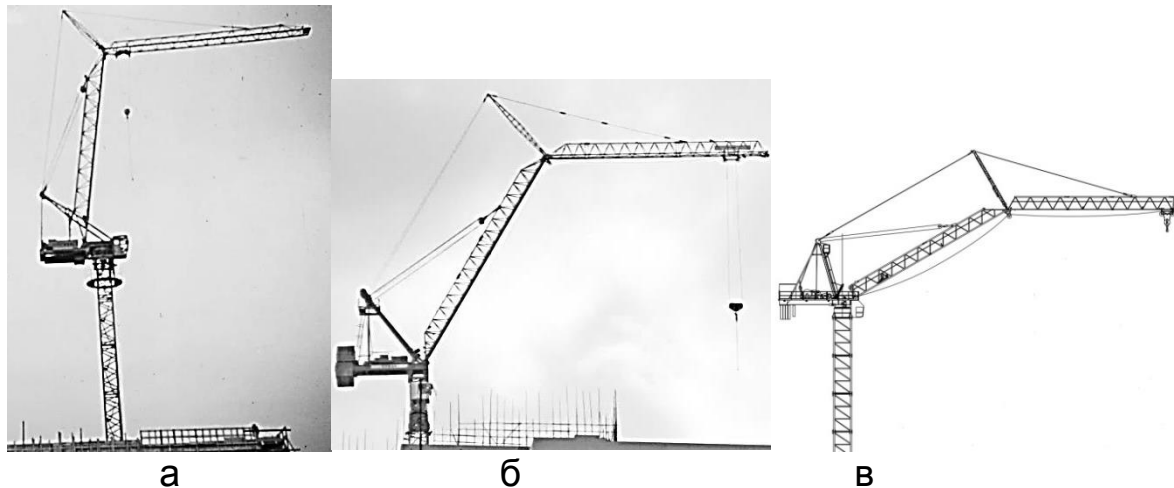


Рис. 6. Моделі баштового крану з шарнірно-зчленованою стріловою системою: а – Kaiser HBK 90; б – Liebherr 140 hc-k; в – Рессо SKK140.

В 1969 році був розроблений проект баштового крану з шарнірно-зчленованою стріловою системою КБк-250 (рис. 7). Стрілова система якого має два положення горизонтальне та складне, коли основна секція шарнірно-зчленованої стрілової системи встановлюється горизонтально, а допоміжна під кутом 30° до горизонту [6]. В Такому положенні вдається значно підвищити висоту підйому вантажу. Завдяки спеціальній схемі запасовки вантажного канату забезпечується горизонтальне переміщення вантажу при русі вантажного візка по похилій стрілі.

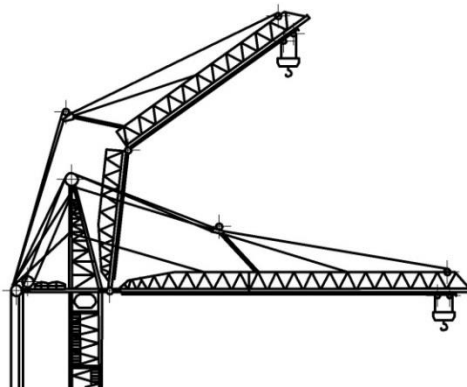


Рис. 7. Баштовий кран КБк-250.

На початку 1960-х Шведська компанія Tornborgs Maskinfabrik AS була найбільш успішним виробником баштових кранів з шарнірно-зчленованою стріловою системою з вантажним моментом до 460 кНм. Маленькі міські крани розроблені в 1961 році такі як кран марки Mangni S-40 (рис. 8,а) з вантажопідйомністю 2,2 тони на вильоті 18 метрів та 1,6 тони на вильоті 25 метрів. Вантажопідйомність була трохи підвищена у моделі Magni S-46 з 1,25 з вильотом 30 метри [4]. Коротка противагова консоль лише 5,1 або 4,6 метри залежно від матеріалу противаги бетонна або зі сталевих листів. Такі удосконалення збільшували універсальність моделі баштового крану. Сьогодні обидві моделі можна знайти на будівельних майданчиках Лондона та його околицях. Поруч з традиційною баштою верхня частина кранів Tornborg має легку вагу та може встановлюватись на баштах різних виробників, таких як BPR і Peiner.

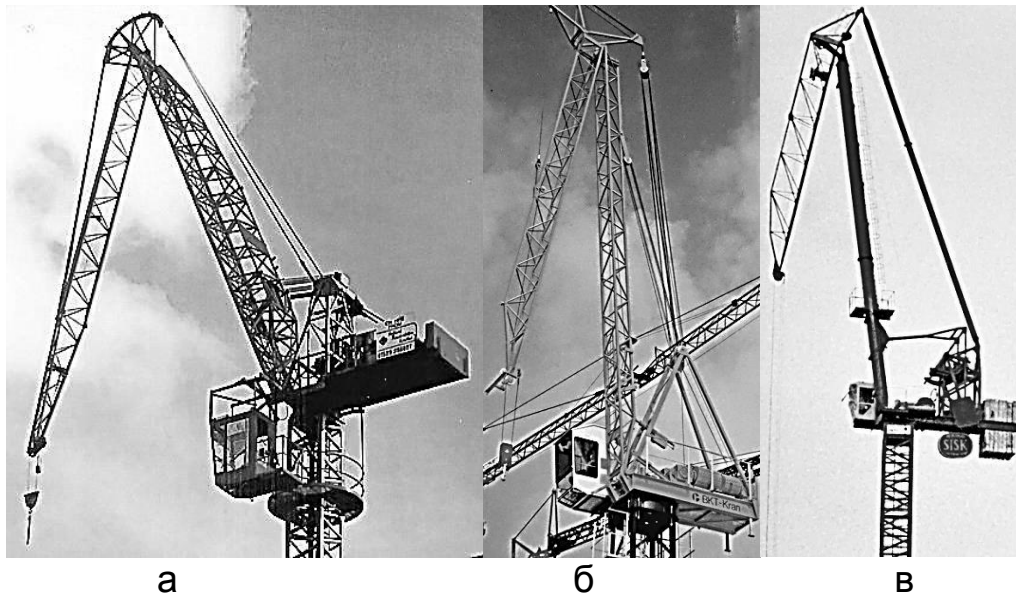


Рис. 8. Баштові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою: а – Tornborgs Mangni S-40; б – BKT BM 45; в – Krøll K103V.

Виробники кранів фірми BKT намагалися переглянути ідею гібридних кранів Tornborgs та в 1995 році розробили кран моделі BM 45 (рис. 8,б). Хоч цей багатоцільовий кран може працювати в двох режимах (як з шарнірно-зчленованою, так і з підйомною стрілою), проте тільки декілька кранів працювали на будівництві. Існує невеликий попит на крани з вантажним моментом 400 кНм. Головною перевагою більш важких кранів цієї конструкції було горизонтальне переміщення вантажу при зміні вильоту стрілової системи, яке виконувалось за рахунок складних систем керування без відносно дорогих механічних рішень. Сьогодні така модель відома на ринку під назвою MRC45-B3 в ряді виробника Potain.

В 1970-х роках Krøll спроектував баштові крани K103V, K202V (рис. 8,в) ззовні схожі на портові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою встановленою на звичайній башті. Головною перевагою таких кранів було не лише можливість пересування вантажу по горизонталі під час зміни вильоту, а також можливість працювати під баштовим краном з горизонтальною стрілою. У деяких випадках такі крани менш чутливі до вітрових навантажень ніж баштові крани з підйомною стріловою системою. У моделі K103V радіус противагової консолі сягає 6,5 м, що дорівнює радіусу повороту складеної стрілової системи, тому він може працювати в обмеженому просторі.

Найсучасніший з кранів з такою конструкцією шарнірно-зчленованої стрілової системи було розроблено в Швейцарії під назвою Cobra (рис. 9). Перший прототип було виготовлено у 2005 році. Найважча модель серії Cobra 638 C на максимальному вильоті піднімає вантаж масою 4,6 тони. Мінімальний виліт становить 2 метри. Оснащений противагою яка за допомогою утримуючих канатів з'єднана з основною секцією стрілової системи та переміщується по радіальних напрямних.

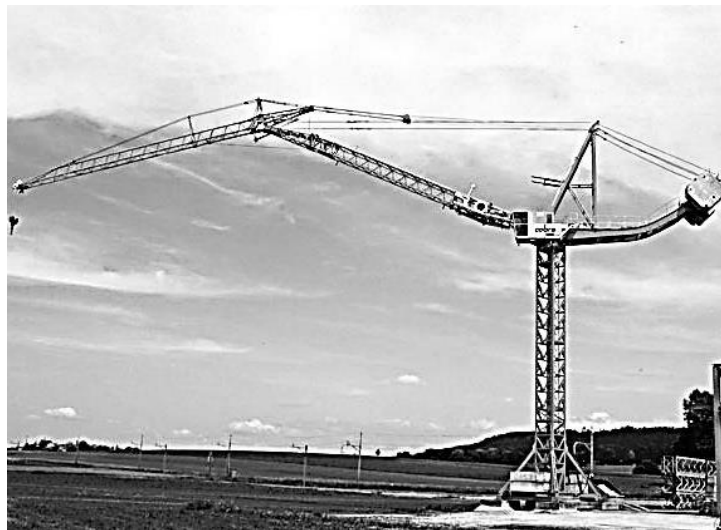


Рис. 9. Баштовий кран Cobra 263C.

В цьому крані зміна вильоту здійснюється лише переміщенням стрілової системи з забезпеченням горизонтального переміщення вантажу. Серед недоліків шарнірно-зчленованих стрілових систем є складність конструкції і монтування, велика потужність приводу зміни вильоту та великий діапазон зміни перекидного моменту. Позитивними якостями їх є маневреність, можливість використання як балочних, при цьому забезпечується горизонтальне переміщення вантажу. Одна з цікавих конструкцій стрілової системи розроблена "Société Générale de Matériel d'Entreprise" бельгійським виробником

баштових кранів та верстатів для обробки арматурної сталі. Кран під назвою SGME K 100 (рис. 10) розроблений наприкінці п'ятдесятих початку шістдесятих років досягає вильоту до 42 метрів і піднімає вантаж масою 2,5 т, максимальна вантажопідйомність 10 т досягається при подвійній запасовці канату. На верхній частині встановлені дві поворотні горизонтальні напрямні, по яких пересувається стріла крана змінюючи тим самим виліт. Основними недоліком крана була невелика маневреність, низька вантажопідйомність, також для зміни вильоту використовувався привід дещо більшої потужності ніж у кранів з балочною стрілою. Крани були орієнтовані в основному на внутрішній ринок. Через свою незвичну конструкцію і ряд недоліків не знайшли великої популярності.



Рис. 10. Баштовий кран SGME K100.

Висновок. Конструкції стрілових систем відіграють важливу роль при роботі баштових кранів. В залежності від умов експлуатації баштові крани оснащуються підйомною балочною або шарнірно-зчленованою стріловою системами. Баштові крани з підйомною стріловою системою використовуються на обмежених будівельних майданчиках де потрібна висока маневреність або на висотному будівництві де значну частину роботи займає цикл піднімання вантажу в порівнянні зі зміною вильоту. Баштові крани з горизонтальною стріловою системою прості в монтуванні і експлуатації, забезпечують горизонтальне переміщення вантажу при зміні вильоту та використовують приводи меншої потужності. Основним недоліком балочних стрілових систем є низька маневреність, їх незручно застосовувати на невеликих, обмежених, будівельних майданчиках. Баштові крани з шарнірно-зчленованою стріловою системою виникли як комбінація підйомних і балочних стрілових систем. В конструкціях таких кранів намагалися забезпечити одночасно переваги і підйомних стрілових систем і горизонтальних. Тому баштові крани з шарнірно-зчленованими стріловими системами маневрені і забезпечують го-

ризонтальне переміщення вантажу, проте складність конструкції стрілової системи підвищує вимоги до монтування і експлуатації таких кранів.

Список літератури

1. Назаренко І.І. Вантажопідіймальна техніка (конструкції, ефективне використання, сервіс) / І.І. Назаренко, Ф.О. Німко. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 400 с.
2. Heinz-Gert Kessel “LUFF STORY” Cranes today 1 April 1999.
3. Heinz-Gert Kessel “Cobra strikes” Cranes today 6 March 2006.
4. Darwin M. The future of confident space lifting? / Darwin M. Cranes and access March 2010.
5. Heinz-Gert Kessel “Special offers” Cranes today 1 November 1999.
6. Невзоров Л.А. Башенные строительные краны : справочник / Л.А. Невзоров, Г.Н. Пазельський, Е.Л. Певзнер. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.

Рассмотрены конструкции стреловых систем башенных кранов. Проведен анализ зарубежных и отечественных литературных исследований по конструкциям стреловых систем башенных кранов. Приведены примеры моделей башенных кранов с их изображениями.

Стреловая система, вылет, конструкция, башенный кран.

The tower cranes jib designs has been considered. The analysis of foreign and domestic literary researches has been provided. Examples models of tower cranes with their images are shown in paper.

Jib, luffing, design, tower crane.

УДК 631.35:630.28:620.95

ПЕРСПЕКТИВИ І ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНЕРЦІЙНО-ЗРУБУЮЧОГО УДАРНОГО РІЗАННЯ ПРИ ЗБИРАННІ БІОМАСИ

***В.П. Ковбаса, доктор технічних наук
Л.М. Матюшенко, здобувач****

У статті викладено результати досліджень теорії лінії прогину стебел деревних і чагарникових рослин енергетичних видів і переваги застосування безстружкового різання.

Енергетичні рослини, прогин стебла, ударне різання.

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.П. Ковбаса**

© В.П. Ковбаса, Л.М. Матюшенко, 2015

Постановка проблеми. Значний вклад у розвиток теорії різання лезом внесли В.Ф. Семенов, В.А. Желіговський, І.Ф. Василенко, Є.С. Босой, А.Н. Карпенко, Л.П. Крамаренко, Н.Є. Рєзнік та ін. займалися вивченням процесів різання різноманітних сільськогосподарських культур. Дослідженням статичного і динамічного різання займалися такі вчені як В.П. Горячкін, В.Ф. Семенов, Н.Є. Рєзнік, А.А. Івашко, Л.П. Крамаренко, І.Ф. Василенко та ін.

Крамаренко Л.П. відмітив, що чим більша швидкість ножа, тим краще проходить процес зрізування стебла, оскільки зменшується опір різанню, а при певних обставинах і зникають поточні деформації, такі як зминання, сколювання, розрив. Повільно контактуючи зі стеблом, лезо занадто зминає його і процес зрізування ускладнюється, а при значній швидкості – майже не деформує його. Відбувається випередження поточних деформацій – зміни форми стебла при проникненні ножа в деревину.

Аналітичні і експериментальні дослідження більшості робіт були направлені на обґрунтування критичної швидкості, яка забезпечує різання з інерційним підпором вільно ростучого стебла і роботи різання деревини. Зменшення маси стебла компенсується збільшенням його жорсткості при зменшенні відстані від кріплення до місця зрізу.

Аналіз останніх досліджень. Кравченко В.В. у своїй науковій роботі [2] розглядає частково пружний центральний косий удар, що відбувається у тому випадку, коли швидкість центру ваги молотка не лежить на лінії центрів молотка та гілки. У своїх дослідженнях він припускає, що зігнута вісь гілки матиме вигляд частини дуги кола та буде сталою із моменту дотику молоток-гілка до її перебивання.

Результатами теоретичних досліджень визначено залежність (1) для компонентів переміщень прутка круглого перетину змінної жорсткості, яка має суттєві відмінності від результатів, що можуть бути отримані методами опору матеріалів та методами великих прогинів тонких прутків, також дозволяє визначити силу, яку необхідно прикласти для отримання певного прогину або напруженого стану в перетинах прутка змінного перерізу з певними пружними постійними [3]. Для вирішення поставленого завдання вивчалися відхилення рослини при дії переміщення і під дією деякої прикладеної сили.

$$w = \frac{1}{3E \pi r_0^4 (-1 + kx)^3} P \times x (-6(y - z)(y + z) + \\ + 2x(2x + (-3 + kx)(h + k(-y^2 + z^2))) + \\ + (3 + kx(-3 + kx))(y^2 + 3z^2)\nu - 3r_0^2(-1 + kx)^2(2 + 3\nu)) \quad (1)$$

Дане рівняння може бути використане при вирішенні завдань, пов'язаних із експлуатацією, а також у проектуванні робочих органів лісогосподарських та інших машин.

Такі дослідження є необхідними для забезпечення оптимальних геометричних параметрів і кінематичних режимів роботи робочих органів машин для якісного зрізання енергетичної рослинності.

Мета досліджень – визначити переваги методу інерційно-зрубуючого ударного різання при збиранні біомаси на території України.

Результати досліджень. Перший збір біомаси із закладеної плантації роблять після першого періоду вегетації. Досліди показали, що існує тісна залежність між висотою зрізання та кількістю і розмірами прута, що виростає за вегетаційний період: чим вище зрізано рослину, тим більше виростає пагонів і тим менші їх діаметр і висота [1]. У цей час отримують найкращий посадковий матеріал. Пагони першого року зрізують на висоті 5–10 см. Як показує практика, доцільніше проводити зрізання на висоті 10 см від поверхні ґрунту, оскільки протягом кількох зборів біомаси з пеньків, що залишаються, формуються потовщення, які необхідно зрізати раз у 7–10 років – робити омолодження плантації. На одному полі вербу можна вирощувати до 20–30 років. На третій рік після створення плантації приріст біомаси може сягати до 31 тони, спостерігається максимальний приріст біомаси.

Особливістю динамічного процесу різання є стійкість пруту, що зрізується, за рахунок урахування її маси комлевої частини. Процес взаємодії робочого органу ударного інерційного різання із рослинами можна уявити як динамічне різання, при якому ножі за рахунок накопиченої кінетичної енергії і крутного моменту двигуна машини зрубують рослину.

Такий механізм є найбільш важливим вузлом агрегатних машин, до яких висуваються ряд наступних вимог: висока продуктивність, невелика споживана потужність, простота конструкції і надійність у роботі. Можливість працювати при наявності на культурній площі деревних решток, здатність зрізати рослини, які ростуть близько одна до одної. Різні типи різальних апаратів мають групу ножів, які відрізняються технологічними особливостями і конструкцією.

Нами розроблена для спрощення проведення теоретичного аналізу класифікація існуючих ножів різальних апаратів (рис. 1).

Ножі виготовляються із легованих або інструментальних сталей і повинні мати достатню міцність і жорсткість для подолання зусиль опору пагонів при ударному різанні та відповідати вимогам до поверхні зрізаного насадження, щоб у подальшому не зашкодити відновленню плантації. Ножі можуть являти собою як симетричний рі-

зець-клин, так і несиметричний (рис. 2), а їх взаємне поєднання і компонування відносно ротора різального апарату обумовлює їхнє конструктивне виконання.

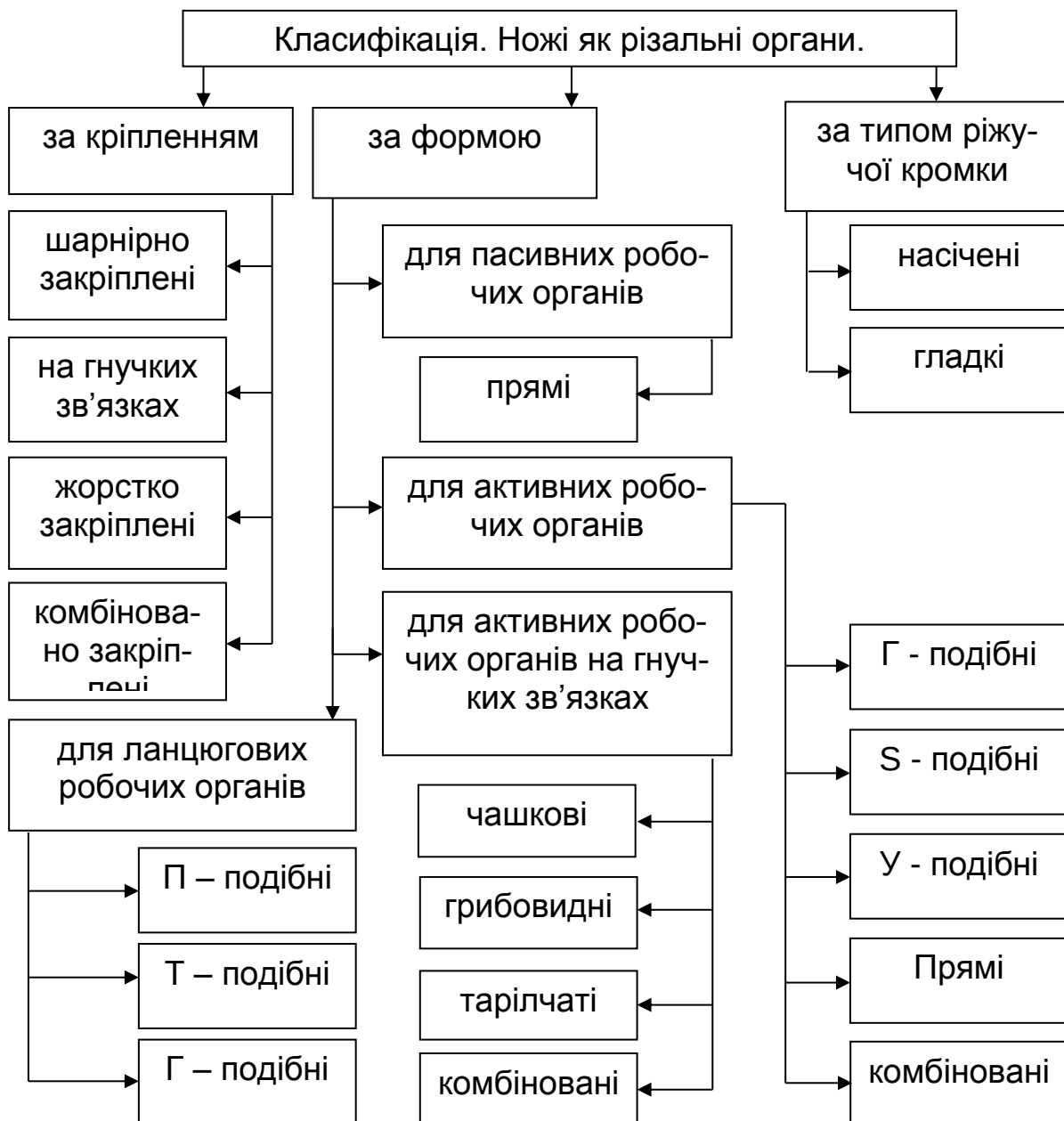


Рис. 1. Класифікація ножів як різальних органів.

Переваги несиметричного різця-клина очевидні. Несиметричність граней клина відносно траєкторії руху виключає тертя пруту, що зрізується, по задній грані і необхідність її заточення. На відміну від інших способів різання поділ деревини відбувається без утворення дрібних трісок, тому зникає необхідність у механізмі виносу подрібнених частинок, що значно спрощує конструкцію різального органу і знижує енергетичні витрати на різання. Монолітний ріжучий орган являє собою конструктивно нескладну форму ножа із клино-

подібною заточкою, яка при перерізуванні здійснює нескладну траєкторію переміщення, тому одне з важливих достоїнств безстружкового різання – висока зносостійкість ріжучих органів і відсутність вторинного процесу різання – нагріву інструменту і деревини.

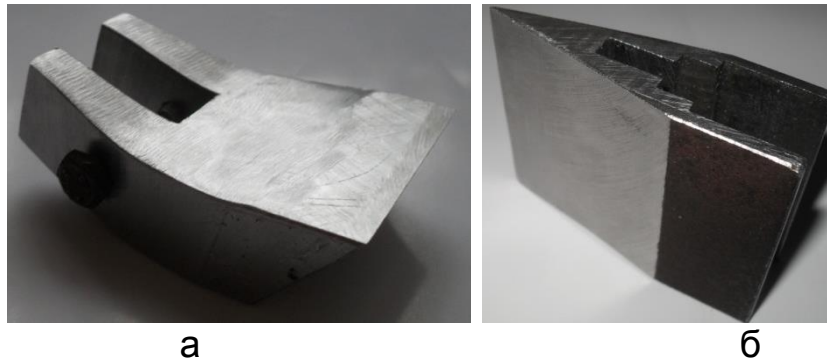


Рис. 2. Ножі: а – несиметричний різець-клин; б – симетричний різець-клин.

Майже всі машини, основа роботи яких полягає в інерційно-зрубуючій дії, із такими робочими органами аналогічні по конструкції і відрізняються лише місцем розташування різального апарату на тракторі, типом трактора і типом приводу робочого органу.

Особливого поширення у лісгоспах України набув рубач коридорів роторний РКР-1,5 (рис. 3). За даними статистики у 57 підвідомчих підприємствах наявні 97 агрегатних роторних кущорізів, 94% із яких складають РКР-1,5.

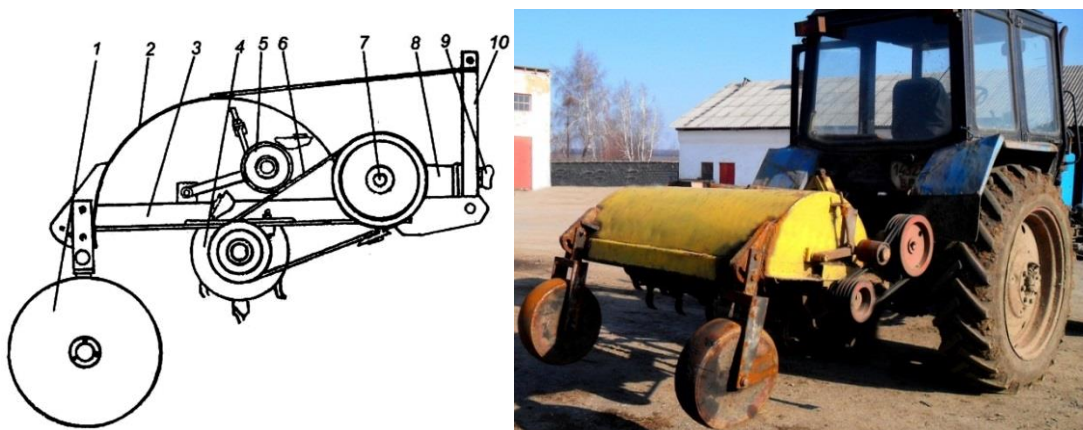


Рис. 3. Рубач коридорів роторний РКР-1,5: 1 – опірне колесо; 2 – захисний кожух; 3 – рама; 4 – роторний барабан; 5 – натяжний ролик; 6 – клинові паси; 7 – привідний механізм; 8 – конічний редуктор; 9 – карданний вал; 10 – навіска.

Різальний апарат рубача розташовується позаду по ходу руху трактора. Такий робочий орган значно стійкіше працює при коливаннях і перекосах під час руху агрегату, не забивається рослинними

рештками, а також дозволяє регулювати висоту зрізу рослинності. В залежності від діаметру деревної і чагарникової рослинності, яку потрібно зрізувати, роторні кущорізи мають певні режими роботи. Єдиним їх недоліком є частково подрібнений зрізаний матеріал, який залишається на місці, виникає додаткова потреба використовувати підбирач.

Основними частинами рубача є: рама 3; роторний барабан 4, що являє собою трубу із привареними дисками, до яких по гвинтовій лінії кріпляться молоткові ножі, і приводиться у дію від заднього ВВП трактора; клинопасова передача із пасами 6; привідний механізм 7; конічний редуктор 8; карданний вал 9 та опірні колеса 1, за допомогою яких регулюють висоту зрізання рослинності від 0,1 до 0,4 м.

Технологія збирання біомаси досить проста. Від ВВП через карданний вал, конічний редуктор і клинові паси трактора приводиться в дію ротор із закріпленими на ньому ножами. Попереду трактора, що наближається до насадження, штовхач прогинає рослини і цим самим створює попередньо напружену зону, тому на створення критичних напружень в наступних етапах руйнування потрібні менші витрати енергії. Далі зрізана біомаса падає на ґрунт. Результат роботи машини РКР-1,5, яка одночасно зі зрізуванням відкидає біомасу від зони роботи різального апарату, порівняно точно витримує висоту зрізу, хоч при цьому виходить дещо нечіткий зріз, – рис. 4.



Рис. 4. Зрізи однорічних та трирічних пагонів рубачем РКР-1,5: а – однорічні пагони, б – трирічні.

Перспективи і застосування методу інерційно-зрубуючого ударного різання при збиранні біомаси полягає в наступному. Різання являє собою безперервний процес за рахунок обертання ротора із розміщеними по спіралі ножів і поступального прямолінійного руху трактора.

Висновок. Використання машин із роторними робочими органами, які обладнані ножами інерційно-ударної дії, дає можливість отримати значні короткочасні імпульси, цілком достатні при їх відносно невеликих розмірах для зрізання деревних і чагарникових енергетичних рослин. Застосування таких робочих органів зменшує енергозатрати і також підвищує продуктивність завдяки роботі машини як машини безперервної дії, а відсутність деревного пилу покращує санітарно-гігієнічні умови праці. Урахувавши високий відсоток наявності РКР-1,5, що складає 94%, на базі підприємств України, можна стверджувати про перспективи проведення досліджень на основі саме цього рубача.

Список літератури

1. *Чагарникові верби рівнинної частини України* / [М.І. Гордієнко, Я.Д. Фучило, А.Ф. Гойчук ; за ред. М.І. Гордієнка]. – К.: Інститут аграрної економіки УААН, 2002. – 174 с.
2. *Кравченко В.В.* Інтенсифікація процесу утилізації насаджень кущових ягідників. 05.05.11 – машини і засоби механізації с.г. виробництва : Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук / В.В. Кравченко. – К., 2011. – 20 с.
3. *Ковбаса В.П.* Про изгиб жестко заделанного прутка / В.П. Ковбаса, В.А. Гридякин, Л.М. Матюшенко // Весник Челябинской государственной агроинженерной академии. – Челябинск, 2014. – Т. 69. – С. 45–50.

В статті изложены результаты исследований теории линии прогиба стеблей древесных и кустарниковых растений энергетических видов и преимущества применения безстружечного резания.

Енергетические растения, прогиб стебля, ударное резание.

This paper presents the research the theory of stems lines bending of energy trees and advantages of using chipless cutting wood.

Power plant, bending stem, shock cutting.

УДК 662.767.3

"МОКРІ" СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ БІОДИЗЕЛЯ

О.В. Поліщук, здобувач*

Доведена необхідність очищення біодизеля від лужного катализатора. Проведений аналіз "сухих" і "мокрих" способів очищення

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.О. Дубровін**

© О.В. Поліщук, 2015

біодизеля. Оценені переваги та недоліки бульбашкового, аерозольного і об'ємного промивання біодизеля.

Біодизель, промивання, краплина, бульбашка, мішалка, нейтралізація, метиловий ефір, каталізатор.

Постановка проблеми. В зв'язку із виникненням глобальних енергетичної та економічної світових криз, людство активно здійснює пошук альтернативних викопним джерел енергії. Особливо велику увагу приділяється пошукам заміників світлих нафтопродуктів, адже без автомобілів, літаків, поїздів людство не бачить свого подальшого існування. Велика частина автомобілів, більшість тракторів та інших мобільних та стаціонарних машин мають привід від дизельних двигунів, які на сучасному етапі, в основному, працюють на нафтовому дизельному паливі, одним із заміників якого є біодизель.

При виробництві біодизеля за традиційною технологією для прискорення реакції метанолізу обов'язково застосовується кислотний або лужний каталізатор. Гетерогенний каталізатор при виробництві біодизеля використовується рідко, в основному слугує гомогенний каталізатор. У разі застосування кислотного каталізатора тривалість реакції становить від однієї до 45 годин, лужного – від декількох десятків хвилин до 8 годин (залежно від температури і тиску). По причині більш швидкого проходження реакції метанолізу головним чином використовується лужний каталізатор (гідроксид калію або натрію), розчин якого в метанолі додається до жирів для отримання біодизеля. Однак сам каталізатор не вступає в реакцію метанолізу, а тільки її прискорює. Тому у виготовленому біодизелі він залишається повністю, викликаючи корозію двигуна. Продукти корозії, потрапляючи в зазор між циліндром та поршнем, викликають їх абразивне зношення. В разі потрапляння їх в паливну систему, вони можуть забивати паливні фільтри, або зовсім блокувати роботу паливної апаратури внаслідок неможливості розпилення палива через форсунки [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Для очищення біодизеля від залишків каталізатора розроблені різні способи, основними серед яких так звані, "мокре" і "сухе" очищення біодизеля [3]. Останнім часом почала з'являтися інформація про розробку ферментного способу очищення біодизеля [4].

При сухій очистці використовується адсорбент, який відокремлює домішки від біодизеля. У деяких системах використовуються іонообмінні смоли, в інших – силікат магнею, мінерал, один з видів якого продається під маркою Magnesol, компанією Dallas Group of America Inc [3], або інші неорганічні адсорбенти, такі як вибільні глини [5]. Іонообмінні смоли – це високотехнологічні штучні смоли, зда-

тні захоплювати молекули мила на поверхні частинок смоли. Різні смоли працюють по різному і використовують різні методи очищення біодизеля. Всі вони призводять до виникнення нового виду відходів – відпрацьованих смол. В даний час випускаються наступні види іонообмінних смол: Amberlite bd10dry виробництва компанії "Rohm and Hass Chemical Co" (розроблена для видалення з біодизеля метанолу, лужний каталізатор вона не видаляє), Dowex DR-G8 виробництва компанії "Dow Chemical" (розроблена для видалення солей, мила, гліцерину та іншої органіки із сирого біодизеля; крім того, висушена смола також служить для сушіння біодизеля, оскільки вловлює і утримує воду), PD206 виробництва компанії "Purolite" (розроблена для видалення мила і гліцерину з біодизеля), Lewatit GF 202 виробництва компанії "Lanxess", Tulsion T-45 BD виробництва компанії "Thermax" (видаляє і гліцерин, і мило з біодизеля) [6].

Використання неорганічних матеріалів звичайно включає добавляння твердої речовини до біодизелю та їх перемішування. Утворюється суспензія, а після перемішування розчину протягом необхідного часу, відбувається очищення за допомогою фільтра. При використанні іонообмінних смол, виробники звичайно встановлюють колону, наповнену сухою смолою; біодизель проходить через смолу потоком до її насичення. У ряді випадків один літр іонообмінної смоли може обробити до 2000 літрів біодизеля [5].

"Сухі" методи очищення досить ефективні, однак вартість магнетолу і іонообмінних смол досить висока, що значно підвищує собівартість виробленого біодизеля. Крім того, виробники іонообмінних смол рекомендують не перевищувати концентрацію 500 г/т мила в неочищеному біодизелі, інакше якість очищення знижується. Тому для зменшення затрат рекомендується проводити попереднє очищення біодизеля іншими методами. Крім того, якщо біодизель сильно забруднений, іонообмінні смоли швидко втрачають свої властивості і погано піддаються регенерації [6].

Мета досліджень – аналіз "сухих" і "мокрих" способів очищення біодизеля та оцінити переваги і недоліки бульбашкового, аерозольного і об'ємного промивання біодизеля.

Результати досліджень. Найпоширенішим методом видалення водорозчинних домішок є "мокре" очищення біодизеля, яке ще називають водяним промиванням. У цьому процесі використовується вода, яка служить розчинником, що вимиває домішки, залишаючи чистий біодизель [3]. Водяне промивання підрозділяється на бульбашкове (пінне), аерозольне і об'ємне.

Пінне промивання полягає в обережному змішуванні 1/3 води і 2/3 біодизеля (вода осідає на дно, а біодизель залишається на поверхні) і барботуванні повітря через шар води. Бульбашки повітря забезпечують непряме перемішування обох рідин – вони захоплюють невелику кількість води і переносять її через біодизель, відби-

раючи мило та інші домішки. Коли бульбашка розривається на поверхні, вода опускається вниз і відбирає ще більше мила і домішок по дорозі вниз. Приблизно через 6 годин промивки потік повітря перекривається і вода зливається, додається свіжа вода і процес повторюється. Ці заміни води відбуваються тричі, поки вода не стане абсолютно прозорою, а рН води не буде нейтральним. Промивна води може бути використана багато разів для промивання наступних порцій. Переваги даної технології полягають в тому, що використовується менша кількість води порівняно з іншими технологіями, а також в застосуванні порівняно дешевого обладнання. Процес не вимагає постійного спостереження. До недоліків технології відноситься неефективне очищення біодизеля поганої якості а також малих об'ємів біодизеля за рахунок того, що бульбашки можуть перемішати воду і біодизель дуже енергійно, що призведе до формування емульсії двох рідин. Утворення емульсії є основною проблемою промивання, однак воно також є своєрідною формою оцінки якості процесу.

Аерозольне промивання було розроблене як спосіб вирішення проблем з формуванням емульсії. У цьому процесі використовується більша кількість води і більш складне устаткування. Разом із тим, даний метод також маскує проблеми з якістю – можна візуально отримати "хорошу промивку", але не завжди мати уявлення про те, що ж вийшло в результаті. При аерозольному промиванні використовується система розпилювачів, розміщених над шаром біодизеля, з можливістю стоку води після її протікання крізь паливо. Аерозольне промивання у меншій мірі перемішує біодизель, ніж бульбашкове, і видаляє мило поступово. Більш м'яке перемішування означає меншу ймовірність формування емульсії мила, моно- і дигліцеридів. Багато користувачів такої системи додатково проводять і бульбашкове промивання в якості фінального етапу – після видалення мила вже не так активно емульгують воду і паливо, тому використання бульбашкового промивання після аерозольного дає хороший результат. До недоліків аерозольного промивання відноситься підвищене споживання води, більш складне устаткування і маскування потенційних проблем. На жаль, моно- і дигліцериди не видаляються з біодизеля незалежно від методу промивання – вони не розчиняються у воді і не вимиваються нею, і при аерозольній мийці слід додатково контролювати якість палива.

При об'ємному промиванні змішуються рівні кількості води та біодизеля, після чого вони перемішуються, відстоюються, вода зливається, і процес повторюється багато разів. Цей метод більш трудомісткий, використовує більше води і не може бути автоматизований так, як бульбашковий [7, 8].

Однак у водяного промивання є свої недоліки. Це довгий процес, який вимагає багато часу для повного очищення біодизеля. Іноді для

досягнення повної прозорості може знадобитися сім чи вісім циклів промивання. Крім того, існує проблема утилізації стічної води з небезпечними домішками [3].

Як правило, при промиванні біодизеля використовують комбінацію способів промивання: попереднє аерозольне промивання з кінцевим бульбашковим; одночасне аерозольне і об'ємне промивання. Наприклад, технологія виробництва біодизеля на американській установці BP-190 передбачає двократне комбіноване промивання біодизеля аерозольним і об'ємним способами [9, 10].

Однак в будь-якому випадку, проведенню промивання передую операція нейтралізації і передбачає проходження через шар біодизеля води, змішаної із невеликою кількістю кислоти. Кислота, реагуючи із лужним каталізатором, викликає утворення солей лимонної кислоти, які потім вимиваються промивною водою.

Висновки

1. Очищення біодизеля від гомогенного каталізатора проводиться "сухим" і "мокрим" способами.

2. Продуктивність "сухого" способу вища, однак і вартість адсорбентів досить висока. "Мокрий" спосіб передбачає використання великої кількості води, від якої необхідно звільняти очищений біодизель, однак вартість цього способу очищення менша.

3. Водяне промивання біодизеля проводиться бульбашковим, аерозольним і об'ємним способами. При бульбашковому промиванні можливе утворення емульсії біодизеля і солей каталізатора, а аерозольне і об'ємне промивання характеризуються застосуванням більшої кількості води і складнішого обладнання.

4. Проведенню "мокрого" очищення біодизеля передую його нейтралізація.

Список літератури

1. Дубровін В.О. Технічні засоби для виробництва біодизеля / В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, В.М. Поліщук, А.І. Мороз // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2011. – Вип. 166. – Ч. 2. – С. 67–72.
2. Дубровін В.О. Дизельні палива із відновлюваних ресурсів / В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, В.М. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2012. – Вип. 174. – Ч. 2. – С. 32–35.
3. Voegelé Erin. Report outlines global biodiesel production / Erin Voegelé // Biodiesel Magazine. – 2011. – August 31. – P. 4.
4. Kram Jerry W. Cleaner and Clearer / Jerry W. Kram // Biodiesel Magazine. – 2008. – January 01. – P. 8–10.
5. Schultz Al. Biodiesel Purification Options / Al Schultz // Biodiesel Magazine. – 2010. – March 23. – P. 6.
6. Очистка биодизеля ионообменными смолами / Recscling – повторное использование или возвращение в оборот отходов производства или мусора [електронний ресурс] / 2013. Режим доступу до журн.: <http://recyclingforum.ru/showthread.php/228-Очистка-биодизеля-ионообменными-смолами>. Дата доступу: 27/08/2013.

7. Пузырьковая промывка биодизеля / Recscling – повторное использование или возвращение в оборот отходов производства или мусора [Электронный ресурс] / 2013. Режим доступа до журн.: <http://recyclingforum.ru/showthread.php/250-Пузырьковая-промывка-биодизеля?s=4077b58b0ba1b77a0d26ea9b5a19bb>
42. Дата доступа: 27/08/2013.
8. Alover M. Collaborative biodiesel tutorial. "Applesid" processor / Maria Alover // Biodiesel Magazine. – 2005. – 6 p.
9. БП-190. – New York: FIA – 12 с.
10. Технології виробництва біодизеля / [В.Г. Мироненко, В.О. Дубровін, В.М. Поліщук, С.В. Драгнєв]. – К.: Холтех, 2009. – 100 с.

Доказана необхідність очистки биодизеля от щелочного катализатора. Проведен анализ "сухих" и "мокрых" способов очистки биодизеля. Оценены преимущества и недостатки пузырькового, аэрозольного и объемного промывания биодизеля.

Биодизель, промывка, капля, пузырь, мешалка, нейтрализация, метиловый эфир, катализатор.

The necessity of purifying biodiesel from alkali catalyst. The analysis of "dry" and "wet" cleaning methods biodiesel. Evaluated the advantages and disadvantages of bubble and aerosol surround washing biodiesel.

Biodiesel, flushing, drop, bubble, mixer, neutralization, methyl ester, catalyst.

УДК 631.3

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАВАННЯ КОРМІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ І РЕЖИМІВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

А.В. Новицький, кандидата 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.

Машина, надійність, відмова, відновлення, пошкодження, зношування.

Постановка проблеми. В результаті проведених з початку 90-х років реформ в агропромисловому комплексі України відбулося

© А.В. Новицький, 2015

зниження обсягів та економічної ефективності виробництва продукції тваринництва. Істотно скоротилася поголів'я тварин, погіршився генетичний і виробничий потенціал галузі, загострилася конкуренція з боку підвищеного імпорту.

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 на фермах ВРХ. Виробництво цих машин розпочато на машинобудівних підприємствах нашої держави: ВАТ «Брацлавський завод сільськогосподарських машин», ВАТ «Уманьферммаш» та ВАТ «Галещина Машзавод» [2, 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 [2, С. 99–100; 6, 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 [7, 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 [4, 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 [5, С. 357–359; 7, С. 198–200].

Практика експлуатації ЗПРК на фермах ВРХ показує, що такий 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. Тобто, сьогодні стає актуальним не лише провести аналіз особливостей умов експлуатації представлених комплексів машин, але й виявити причини формування і проявлення різних видів відмов, що лімітують необхідну надійність конструкцій ЗПРК.

Мета досліджень є 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 на-

віть 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 зношенням.

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, бурякова стружка. 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.

Слід зазначити, що деталі і вузли ЗПРК зношуються з різною інтенсивністю. Пояснюється це тим, що деталі і вузли виготовляються з різних матеріалів, мають різну зносостійкість та навантаження при експлуатації. Наприклад, активні деталі та робочі органи (ножі, шнеки, вали, мішалки та ін.) несуть більше навантаження, ніж пасивні (опорні плити, рами, корпуси та ін.). Крім того, допуски на розміри і посадку деталей, які забезпечуються підприємствами-виробниками коливається у великих межах. В результаті чого, одні й ті ж сполу-

чення 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 мікрорізанням, 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 конс-

труктивних 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 невідпорядкованих 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. Каміні, 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. Нерідко зустрічаються відмови вказаних пристроїв, які пов'язані з порушенням в роботі електронних систем ЗПРК. Як показує досвід використання засобів, вони можуть виникати раптово, або формуватися поступово приводячи до функціональних відмов зважувальних пристроїв, механізмів дозування.

Значне навантаження на колеса ЗПРК, особливо для одноосних засобів, призводить до того, що колеса змішувачів-роздавачів 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. Причиною низької надійності ЗПРК є також відсутність на вітчизняних заводах випробувальних лабораторій, необ-

хідних для оперативної перевірки нових проектних рішень агрегатів і конструкцій машин; іншою важливою причиною є недотримання рекомендацій щодо випробувань машин перед початком їх серійного виробництва

Таким чином специфічними умовами експлуатації ЗПРК є:

- можливість виникнення аварійних пошкоджень при попаданні сторонніх твердих предметів;
- перевантаження механізмів, вузлів, трансмісії в наслідок нерівномірного завантаження складових кормів та порушення режимів роботи;
- високий рівень завантаження машини і короткі проміжки технологічних перерв;
- наявність середовища з високим вмістом абразивних часток і запиленістю домішками органічного походження;
- наявність агресивного корозійного середовища, включаючи складові кормів.

Постійний моніторинг та розробка заходів з усунення вказаних причин дозволить суттєво підняти рівень надійності вітчизняних та імпортованих ЗПРК.

Висновки

Проведена оцінка надійності вітчизняних ЗПРК від особливостей умов і режимів їх експлуатації вказує на необхідність перейняття досвіду у зарубіжних виробників з метою забезпечення високих показників надійності, які можуть бути досягнуті вирішенням наступних задач:

- відпрацюванням нових конструкцій машин та сучасних технологій виробництва машин, використання новітніх матеріалів та технологій зміцнення;
- формування нових підходів і створення моделей надійності систем «людина-машина» з виявленням ролі людського фактору в загальній проблемі забезпечення необхідного рівня техніки;
- забезпеченням підготовки обслуговуючого персоналу для експлуатації машин, сервісного обслуговування та ремонту;
- випробовуванням машин на стендах і в реальній експлуатації з метою виявлення слабких ланок та оптимізація основних показників надійності.

Список літератури

1. Аналіз відмов робочих органів засобів для приготування та роздавання кормів / А.В. Новицький, В.О. Соломка, О.В. Соломка, М.С. Білоус // IX-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кіровоград, 2013. – С. 201–202.
2. Аналіз вітчизняних засобів для приготування і роздавання кормів / А.В. Новицький, С.С. Карабиньов, В.М. Чміль, О.М. Коморний // Матеріали VIII

Міжнародної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології 2012». – Миколаїв: МДАУ, 2012. – С. 96–101.

3. 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 XXIX международной научно-практической конференции. – Новосибирск: СибАК, 2013. – № 12 (25). – С. 149–156.

4. Новицкий А.В. Аналіз надійності засобів для приготування і роздавання кормів методом дерева відмов / А.В. Новицкий, О.О. Банний / Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2011. – Vol. 13B. – С. 117–123.

5. Новицкий А.В. Визначення показників надійності системи приготування і роздавання кормів / А.В. Новицкий // Науковий вісник Національний університет біооресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 355–361.

6. Ревенко І. Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі / І. Ревенко, Т. Лісовенко, В. Хмельовський // Пропозиція. – 2008. – № 9. – С. 106–114.

7. 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.

Машина, надежность, отказ, восстановление, повреждение, изнашивание.

The paper analyzes the problems of machines for making and distribution of feed in 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.

Machine, reliability, failure, restoration, damage, wear.

УДК 631.363

ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ВАЛЬЦЕДЕКОВОЮ ДРОБАРКОЮ

С.Є. Потапова, кандидат технічних наук

Запропоновано модель процесу подрібнення у вальцедекових зернодробарках для уточнення фізичного механізму руйнування фуражного зерна.

© С.Є. Потапова, 2015

Подрібнювачі зерна, вальцедекова дробарка, модель процесу подрібнення.

Постановка проблеми. Раціональне використання концентрованих кормів має важливе значення в організації годівлі сільськогосподарських тварин. Без попередньої обробки ефективність згодовування зерна різко знижується. Одним з основних способів підготовки кормів до згодовування є подрібнення.

Подрібнення – процес руйнування перероблюваного матеріалу з метою зменшення крупності його часток до розмірів, необхідних для ефективного використання продуктів, що при цьому одержують [5]. При подрібненні руйнується тверда поверхнева оболонка зерна (це значно полегшує розжовування корму, при цьому підвищується його поїдання), значно збільшується площа контакту кормових часток з шлунковим соком, їх поживні речовини стають більш доступними і повніше використовуються організмом тварин. Тому правильний вибір подрібнюючого засобу є вкрай важливим.

Аналіз останніх досліджень. Для подрібнення зерна можуть використовуватись різноманітні подрібнювачі, проте у сільськогосподарському виробництві та комбікормовій промисловості широкого застосування набули молоткові дробарки [3, 6, 7]. В порівнянні з більшістю інших кормопереробних машин вони відрізняються простою конструкції та обслуговування, широкою універсальністю. Але ці машини мають істотні недоліки, такі як великі питомі витрати енергії на подрібнення, значна питома металоємність конструкції, нерівномірний гранулометричний склад одержуваного продукту з великим виходом пиловидної фракції і вмістом цілих зерен у готовому продукті [1, 3]. У зв'язку з цим важливим завданням при розробці подрібнювачів є підвищення ефективності їх роботи і зниження енергоємності процесу подрібнення.

Значною перевагою вальцевих дробарок є висока рівномірність продуктів подрібнення з низьким вмістом пиловидної фракції [3]. Ці машини зручні та надійні в експлуатації. Одновальцеві (вальцедекові) подрібнювачі крім переваг вальцевих дробарок мають до того ж більш просту конструкцію.

Отже, засобами, здатними забезпечувати високу якість подрібнення зерна можуть бути вальцеві станки, зокрема їх одновальцевий варіант – вальцедекові дробарки.

Їх конструктивна простота, невелика вартість та низька енергомісткість будуть особливо привабливими для фермерських та приватних господарств.

Проте питання наукового обґрунтування основних параметрів робочого процесу таких дробарок детально не досліджені.

Метою досліджень є уточнення фізичного механізму руйнування фуражного зерна у вальцедекових зернодробарках і формування на його підставі раціональних принципів їх робочого процесу.

Результати досліджень. На нашу думку, серед існуючих конструктивних схем вальцевих дробарок [4] для подрібнення зернових кормів з метою отримання продуктів подрібнення високої якості при невеликих енергозатратах доцільно використовувати вальцедекові дробарки.

Основними конструктивними елементами вальцедекової зернодробарки є (рис. 1): валець 3, дека 2 з напрямною поверхнею 1, що спрямовує перероблювану сировину безпосередньо до робочого зазору.

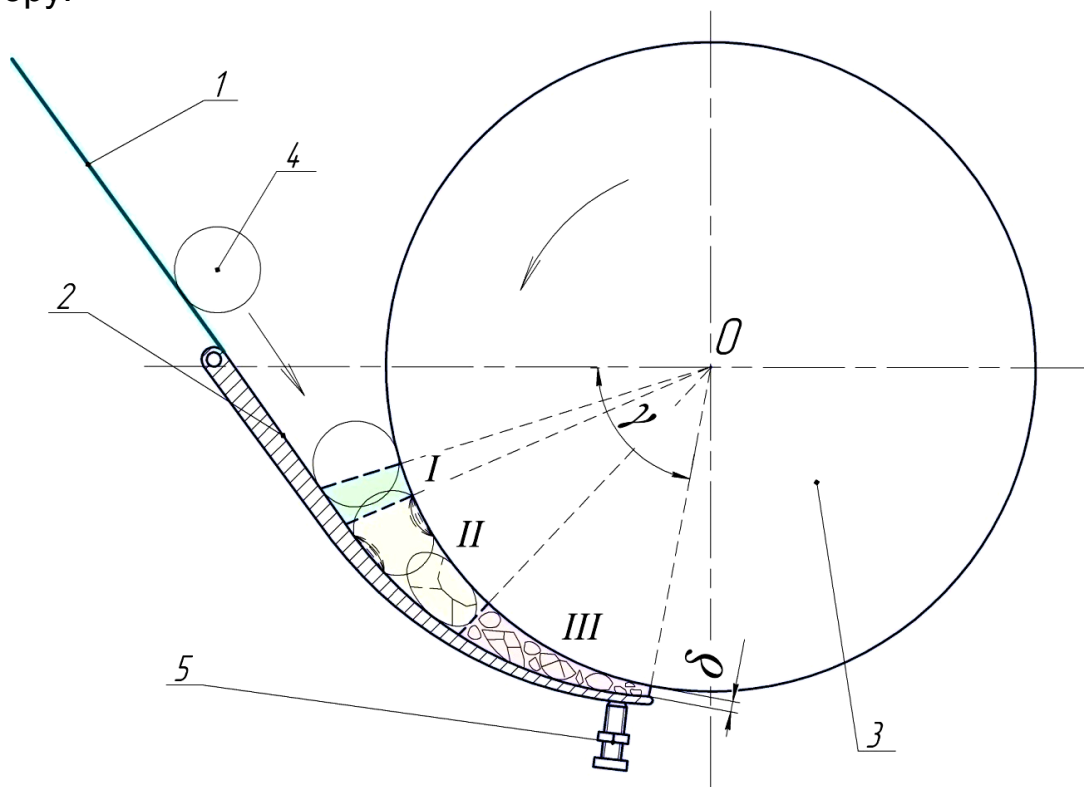


Рис. 1. Модель процесу подрібнення зерна вальцедековою дробаркою: 1 – напрямна, 2 – дека, 3 – валець, 4 – зернина, 5 – регулювальний гвинт.

Технологічний процес переробки зерна такою дробаркою складається з трьох послідовних етапів.

Перший етап (I) – затягування і пружної деформації протікає від моменту початку прикладання зусиль, викликаних дією робочих органів дробарки до моменту появи перших тріщин, що відповідає границі пружності зерна.

Можна допустити, що в цій фазі зерно підкоряється закону Кіка в тому сенсі, що витрата енергії пропорційна об'єму або вазі окремих зерен.

Другий етап (II) – пластичної деформації і зміщення окремих частин зерна. В межах цієї фази зерно розколюється, іноді плющиться (ущільнюється). Після цього відбувається перехід до вирішального, третього етапу (III) – подрібнення зерна на частки з подальшим руйнуванням і деформуванням окремих складових його частин. В цей час відбувається утворення нових зовнішніх поверхонь з одночасною пластично-в'язкою деформацією речовини зерна. При цьому перша частина роботи залежить від молекулярних сил зчеплення новоутворюваних поверхонь та їх характеристик і підкоряється закону Ріттинґера [2, 5]. Друга ж частина роботи (на деформацію) залежить від фізичної характеристики зерна, способу прикладання зусиль і швидкості дії останніх.

Характер протікання процесу подрібнення зерна визначається двома змінними величинами: фізичною структурою зерна (залежить від сорту, умов вирощування та зберігання) і умовами прикладання руйнуючих зусиль (залежить від характеристик робочих органів подрібнювача). Отже кінематичні та геометричні параметри вальцедекової дробарки, такі як швидкість обертання вальця, довжина робочої зони подрібнення, яка визначається довжиною деки (кутом обхвату декою вальця γ), величина вихідного зазору δ , профіль та нахил рифлів тощо відіграють виняткову роль.

При механічному руйнуванні твердого тіла під впливом зовнішніх сил в шарах тіла, що примикають до поверхні, відбувається утворення і розширення нових тріщин [2]. Утворюється область з підвищеною кількістю мікротріщин, яку Ребіндер називає «зоною передруйнування». Ця зона утворюється не тільки при руйнуванні твердого тіла, тобто подрібненні його на частини, але і при будь-якій пружній або пластичній деформації. Чим вище напруга, що виникає в твердому тілі при його деформації, тобто чим ближче воно до межі пружності, тим більше розвинена у деформованій частині тіла зона попереднього руйнування, отже, тим яскравіше виражено вплив зовнішніх сил.

Під час подрібнення зерна на показники процесу подрібнення впливають багато чинників. Повністю описати процес подрібнення, з'ясувати закономірності його протікання, взаємодію його складових між собою та із зовнішнім середовищем можливо у разі використання системного підходу.

Кут α захоплення зерна вальцем (рис. 2) – один з найважливіших параметрів, що характеризують перший етап процесу подрібнення, який на пряму залежить від геометричних параметрів робочих органів та розмірів перероблюваного зерна. В процесі роботи дробарки зернина радіусом r з центром у точці O' ($r=d_e/2$, де d_e – еквівалентний діаметр зернини) напрямною з кутом нахилу до горизон-

талі β потрапляє в клиновидний простір між вальцем радіусом R (з центром в точці O) та декою, величина якого визначається розміром вхідного зазору Δ . Кут β нахилу напрямної повинен бути не меншим кута тертя зернини по поверхні деки.

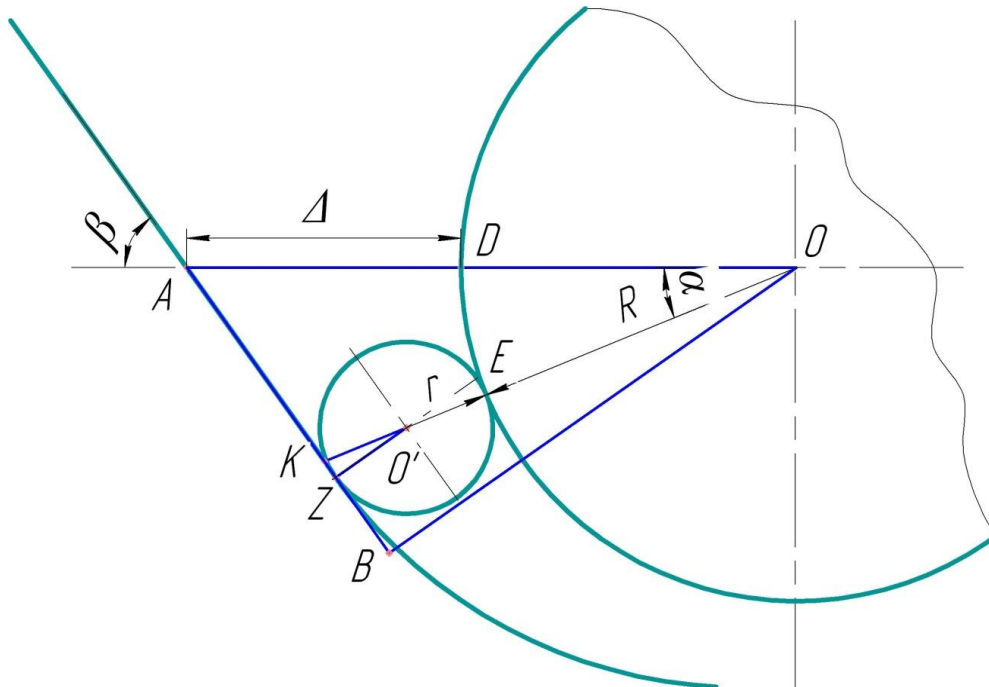


Рис. 2. До визначення залежності кута α від геометричних параметрів дробарки.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned}\angle KAO &= \beta, \\ \angle AOK &= \alpha, \\ OD = OE &= R, \\ O'E = r, AD &= \Delta, \\ \angle OBA = \angle O'ZK &= 90^\circ.\end{aligned}$$

Для визначення величини кута захоплювання α отримано залежність:

$$\alpha = \arcsin \frac{(\Delta + R) \sin \beta - r}{R + r} - \beta.$$

Це рівняння свідчить, що значення кута α залежить від зміни кута нахилу напрямної β , розмірів зернини r і вальця R та величини вхідного зазору Δ між вальцем і декою.

Висновок. Запропонована теоретична модель процесу подрібнення зерна дозволяє уточнити фізичний механізм руйнування фуражного зерна у вальцедеківій дробарці і створити передумови для визначення основних параметрів запропонованої машини.

Список літератури

1. Дорофеев Н.С. Обоснование энергосберегающих технологических схем измельчения фуражного зерна / Н.С. Дорофеев // Машины и оборудование для животноводства : Труды ВНИИКОМЖ. – М., 1985. – С. 85–94.
2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
3. Потапова С.Є. Классификация и оценка измельчителей зерна / С.Є. Потапова // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 15, No 3. – P. 349–356.
4. Потапова С.Є. Огляд та аналіз основних конструктивних схем вальцювих дробарок / С.Є. Потапова // Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування : XIII Всеукр. конф. НПП, наукових співробітників та аспірантів навчально-наукового технічного інституту Національного університету біоресурсів і природокористування України, 11–15 квітня 2013 року : тези доп. – К., 2013. – С. 70–71.
5. Ревенко І.І. Машины та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко. – К.: Кондор, 2009. – 735 с.
6. Сыроватка В.И. Концепция развития технологий и технических средств производства комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка, Н.М. Морозов. – Подольск: ВНИИМЖ. – 1997. – 62 с.
7. Ясенецкий В.А. Машины для измельчения кормов / В.А. Ясенецкий, П.В. Гончаренко ; под ред. Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1990. – 166 с.

Предложена модель процесса измельчения в вальцедековых зернодробилках для уточнения физического механизма разрушения фуражного зерна.

Измельчители зерна, вальцедековая дробилка, модель процесса измельчения.

The model of grinding process in roll-and-deck crusher has been proposed to clarify the physical mechanism of feed grain's destruction.

Grain grinders, roll-and-deck crusher, grinding process.

УДК 621.873

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО РЕЖИМУ ПУСКУ КАНАТНОЇ ЛЕБІДКИ

Ю.Ю. Сердюченко, здобувач*

В статті розглянуто проведення експериментального дослідження зміни зусилля в канаті однобарабанної лебідки. Наведено

****Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін***

© Ю.Ю. Сердюченко, 2015

схему натурної моделі із встановленим вимірювально-реєструвальним обладнанням, методику проведення експерименту.

Перехідний режим, зусилля, експеримент, вимірювально-реєструвальне обладнання.

Постановка проблеми. Під час роботи канатних пристроїв у приводі та канаті виникають пульсуючі навантаження, які на перехідних режимах руху значно перевищують усталені значення. Це призводить до зменшення ресурсу елементів привода, погіршення умов роботи оператора, та може стати причиною травмування працівників. Для об'єктивної оцінки зусиль в канаті на перехідних режимах руху лебідки (розгін-гальмування) є доцільним проведення експериментальних досліджень роботи системи «лебідка-канат-вантаж».

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню динамічних навантажень в лебідкових механізмах присвячена значна кількість робіт, що обумовлено широким використанням цих агрегатів в промисловості.

На лісозаготівлі (через різноманітність виробничих умов) маса вантажу нерідко може перевищувати масу самого лебідкового агрегату. В таких випадках пікові зусилля в канаті, за результатами теоретичних досліджень, перевищують усталені навантаження в 3-5 разів [1]. Для підтвердження цих результатів потрібно провести експериментальне дослідження роботи канатної лебідки.

Мета досліджень. Розробити методику, підібрати вимірювально-реєструвальне обладнання та провести експеримент з дослідження динаміки зусиль в канаті лебідки під час перехідного режиму руху лісової машини із однобарабанною лебідкою.

Результати досліджень. Проведення експериментальних досліджень має на меті якісну оцінку результатів теоретичного дослідження у роботі [1]. Програмою проведення експерименту передбачено наступне:

- розробка натурної моделі системи «лебідка канат-вантаж»;
- підбір вимірювально-реєструючого обладнання для визначення основних параметрів руху системи;
- планування експериментів для визначення параметрів руху системи, (кутова швидкість барабану $\dot{\varphi}$, зусилля S_K і S_P в тяговому канаті і розтяжці).

Для проведення експериментальних досліджень було використано натурну модель лісової машини. В якості енергетичного засобу було використано самохідне шасі Т-16 із закріпленою на рамі із однобарабанною канатною лебідкою ЛТ-5 (рис. 1). Принципова схема гідроприводу наведено на рис. 2.



Рис. 1. Натурна модель лісової машини із однобарабанною лебідкою: а – загальний вигляд; б – розташування елементів привода лебідки.

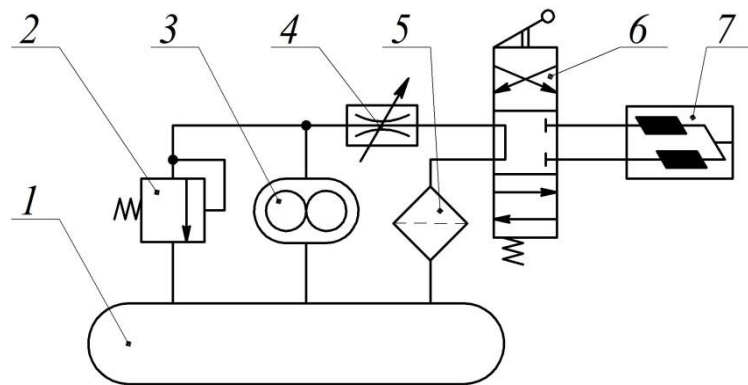


Рис. 2. Принципова схема гідроприводу лебідки: 1 – гідробак; 2 – запобіжний клапан; 3 – шестеренний насос; 4 – регульований дросель; 5 – фільтр; 6 – розподільник з ручним керуванням; 7 – аксіально-поршневий гідромотор.

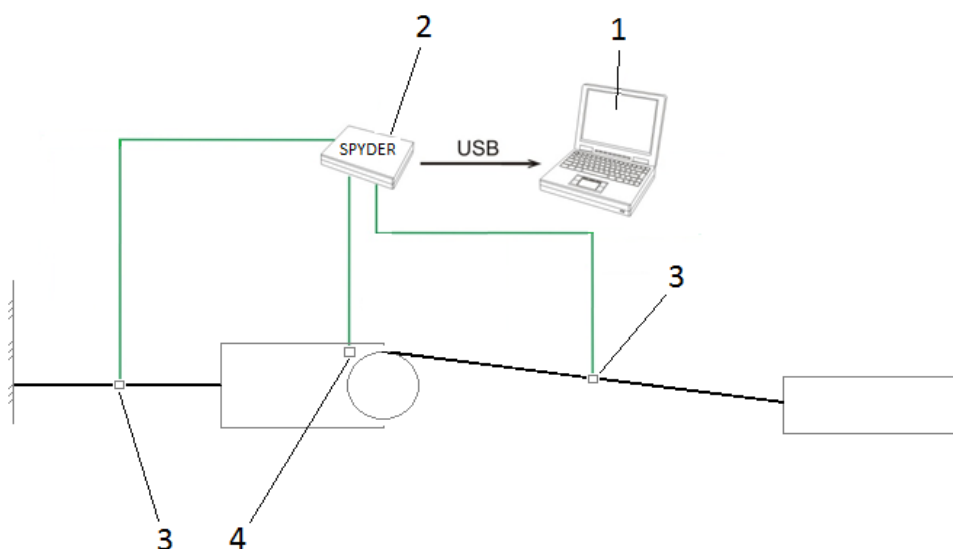


Рис. 3. Схема встановлення вимірювально-реєструючого обладнання на натурній моделі.

Для вимірювання необхідних параметрів системи було використано датчик ДЧВ-01 та 2 тензорезисторних датчика К-Р-20. Для отримання цифрових сигналів з встановлених датчиків було використано цифро-аналоговий підсилювач-перетворювач SPIDER 8-FO 5254 та персональний комп'ютер HP 6100 із програмним продуктом Catman Express 4.5, що дозволяє передати експериментальні дані в офісний пакет MS Excel для подальшої обробки. Електронна система збору даних дозволяє фіксувати сигнали з датчиків кожні 0,1 с. Схема встановлення датчиків на натурній моделі наведена на рис. 3.

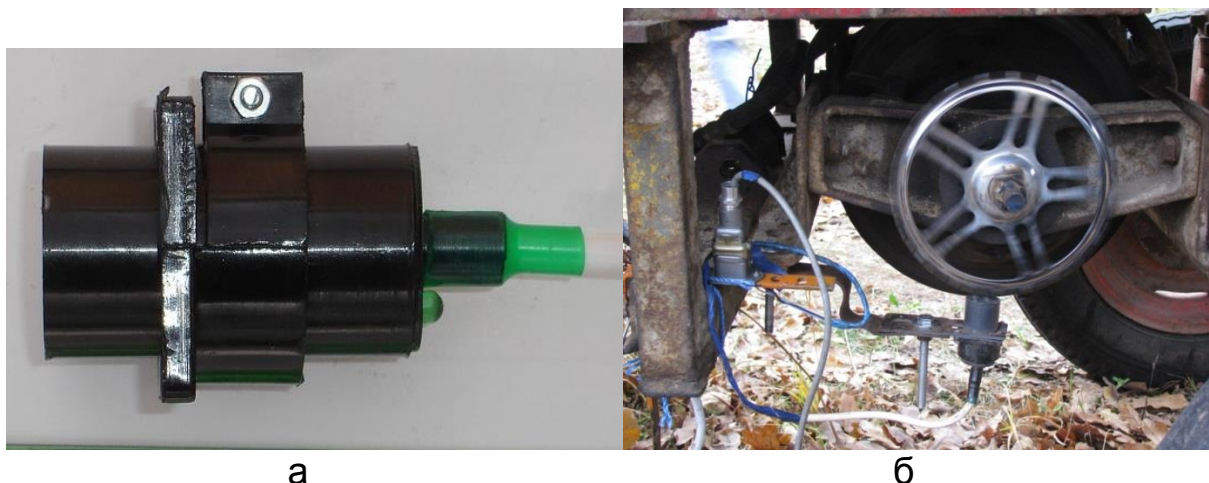


Рис. 4. Датчик ДЧВ-01 для безконтактного контролю частоти обертання деталей вузлів та механізмів: а – загальний вигляд; б – розміщення датчика на валу барабана.

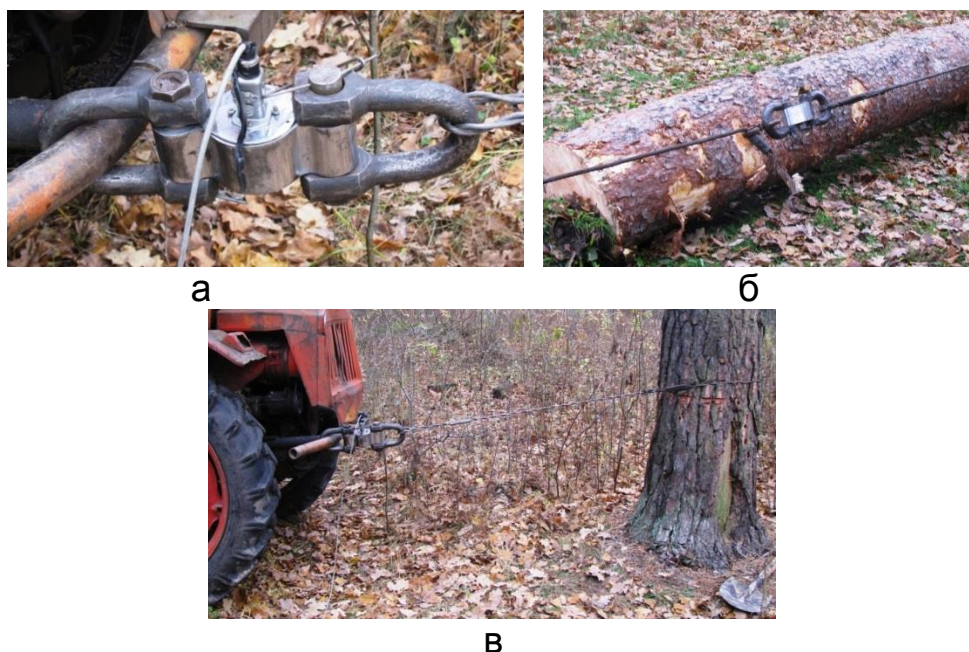


Рис. 5. Тензорезисторний датчик зусилля К-Р-20: а – загальний вигляд; б – розміщення датчика на тяговому канаті; в – розміщення датчика на канаті-розтяжці.

1. Технічна характеристика датчика ДЧВ-01.

Найменування параметру	Значення
Робочий діапазон температур, °C	-20...+70
Номинальна напруга живлення, В	12...36
Максимальний струм живлення, А	0,003
Частота спрацьовування, Гц	1...1000
Ступінь захисту	IP 65

2. Технічна характеристика датчика К-Р-20.

Найменування параметру	Значення
Робочий діапазон температур, °C	-30...+50
Номинальна напруга живлення, В	5...12
Вхідний опір, Ом	400±50
Найбільша межа вимірювання, Н	5000
Ступінь захисту	IP 68

На кожному з етапів експерименту проводились 3 серії досліджень по 5 спроб у кожній. Використовувались вантажі масою 450 кг, 1200 кг та 1800 кг.

Під час проведення трифакторного експерименту фіксувались наступні параметри системи: зусилля в тяговому канаті S_k ; зусилля в канаті-розтяжці S_p ; частота обертання приводного барабану n_b .

Використання змінних вантажів дозволяє наближено відобразити різноманітність виробничих умов на лісосіці.

Висновок. Для підтвердження адекватності результатів досліджень було розроблено методику для проведення експериментальних досліджень. Розроблена схема розташування, кріплення та система збору експериментальних даних для подальшої обробки. На основі отриманих результатів досліджується динаміка руху наведеної вище механічної системи. Результати зібраних даних в подальшому пропонується порівняти з теоретичними дослідженнями.

Список літератури

1. Сердюченко Ю.Ю. Моделювання перехідного режиму пуску канатної лебідки / Ю. Ю. Сердюченко, В. С. Ловейкін // Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 155. – С 3-10.

В статье рассмотрено проведение экспериментального исследования изменения усилия в канате однобарабанной лебёдки. Приведена схема натурной модели с установленным измерительно-регистрирующим оборудованием и методику проведения эксперимента.

Переходной режим, усилие, эксперимент, измерительно-регистрирующее оборудование.

The paper considers pilot study changes in rope -drum efforts winch. Shows a diagram of full-scale model with established measurement and recording equipment and methodology of the experiment.

Transient behavior, effort, experiment, measuring and recording equipment.

УДК 662.763.3.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОСТУПОВОЇ ПОДАЧІ СУБСТРАТУ В БІОГАЗОВИЙ РЕАКТОР

В.М. Поліщук, кандидат технічних наук

В.О. Дубровін, доктор технічних наук

М.М. Лободко, кандидат технічних наук

О.В. Поліщук, здобувач*

Наведено результати експериментальних досліджень виробництва біогазу при поступовому завантаженні субстрату. Визначено залежність середнього виходу біогазу при поступовій подачі суб- страту від відсотка оновлюваного субстрату.

Біогаз, метантенк, косубстрат, поступове завантаження, сирий гліцерин, гній ВРХ, біогазовий реактор.

Постановка проблеми. При періодичному завантаженні субстрату в метантенк існує 1–2 піки максимального виходу біогазу, що виникають при переході з експоненціальної фази до фази уповільнення росту [1]. Максимальний вихід біогазу спостерігається протягом декількох діб, після чого інтенсивність його генерації поступово знижується аж до повного припинення. Час повного розкладання біомаси при анаеробному зброджуванні може становити 30-45 діб, однак вихід біогазу в цьому випадку низький і не забезпечує прибутковості біогазової установки.

Аналіз останніх досліджень. Для рівномірного розподілу виходу біогазу в часі застосовується поступова подача субстрату в метантенк, при якій субстрат подається протягом дня великою кількістю незначних порцій, з одночасним видаленням відпрацьованого біошламу. При цьому кожна нова порція субстрату, що завантажується в метантенк, буде формувати свій максимум виходу біогазу (рис. 1) [2]. Максимуми від кожної порції завантаженого субстрату

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.О. Дубровін**

© В.М. Поліщук, В.О. Дубровін, М.М. Лободко, О.В. Поліщук, 2015

формуватимуть загальний вихід біогазу з метантенку, який буде істотно перевищувати вихід біогазу при періодичному завантаженні. Причому, чим частіше будуть завантажуватися нові порції субстрату, тим більш рівномірним буде спільний вихід біогазу [3, 4].

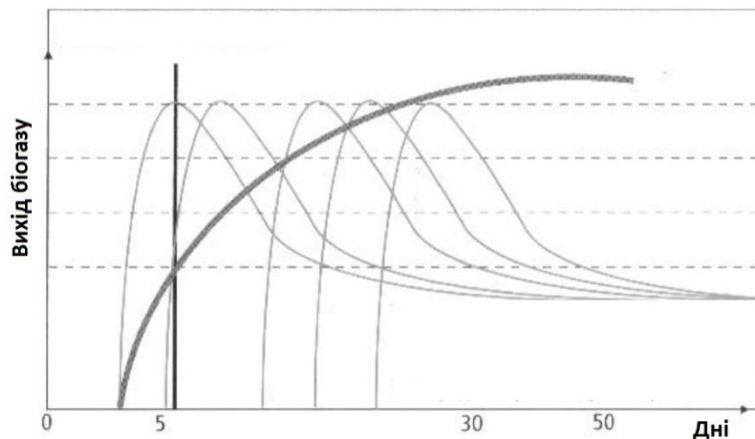


Рис. 1. Схематичне зображення формування виходу біогазу при безперервному завантаженні субстрату в метантенк [2].

Тому **метою** наших **досліджень** є експериментальне встановлення впливу на вихід біогазу добового об'єму завантаження субстрату при його поступовій подачі.

Результати досліджень. Нами проведено дослідження про процесу поступової подачі субстрату в метантенк лабораторної біогазової установки (рис. 2).



Рис. 2. Експериментальні біогазові установки.

У метантенк об'ємом 29 м^3 завантажувалося $4,2 \text{ кг}$ субстрату, що складається з $1,7 \text{ кг}$ гною ВРХ, $2,5 \text{ кг}$ води і $0,05 \text{ л}$ неочищеного гліцерину (3 % від маси субстрату). Коефіцієнт заповнення метантенка склав $0,5$, коефіцієнт спорожнення – $0,28$. На 2-3 добу бродіння спостерігався максимальний вихід біогазу. У цей час в метантенк

щодооби додавалася нова порція субстрату в розмірі 1/30, 1/20, 1/10 і 1/5 частини завантаженої порції субстрату. Вага субстрату і окремих його компонентів при щоденній завантаженні приведені у табл. 1.

1. Вага субстрату і окремих його компонентів при щоденному завантаженні метантенка.

Показатель	Процент оновлюваного субстрату			
	1/30 (3,3%)	1/20 (5%)	1/10 (10%)	1/5 (20%)
Початкове завантаження субстрату, кг	4,2	4,2	4,2	4,2
Щоденне завантаження субстрату, кг, в т.ч.:	0,1422	0,2132	0,4264	0,8527
гній ВРХ, кг	0,057	0,085	0,17	0,34
вода, кг	0,083	0,125	0,25	0,5
сирий гліцерин, л	0,0017	0,0025	0,005	0,01
Щоденне вивантаження біошламу, кг	0,1422	0,2132	0,4264	0,8527

Результати дослідження виходу біогазу при поступовому завантаженні субстрату наведені на рис. 3, з якого видно, що бродіння супроводжується двома піками максимального виходу біогазу.

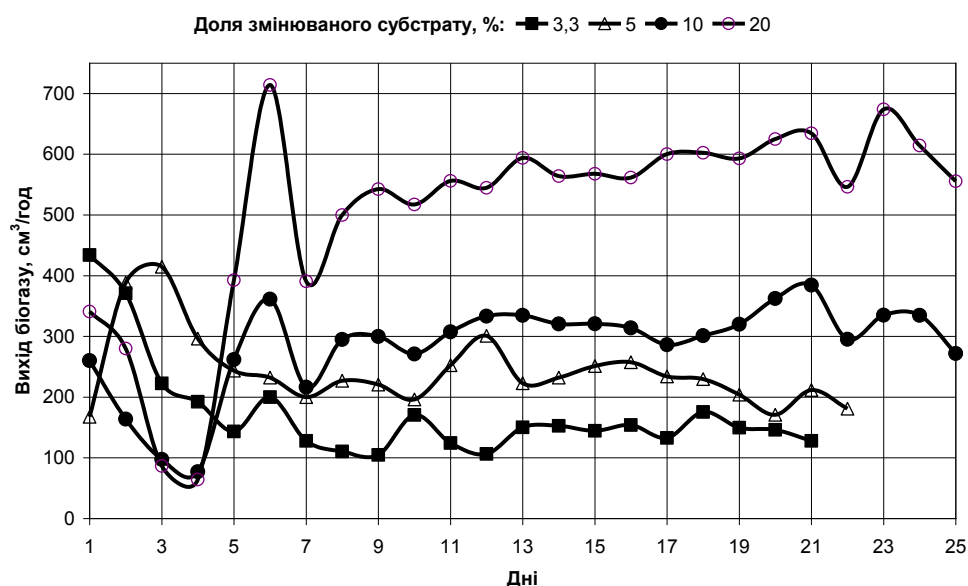


Рис. 3. Генерація біогазу при поступовому завантаженні субстрату.

Початок відліку співпадає з першим піком, після чого настає згасання генерації біогазу, і на шосту добу бродіння спостерігається другий пік генерації. На 8 добу бродіння вихід біогазу стабілізується і в наступні дні спостерігається відносно рівномірна генерація біогазу з незначним збільшенням його виходу в часі. Середній вихід біогазу при щоденному оновленні 3,3% субстрату від завантаженого на по-

чатку бродіння становить 141 см³/год, при оновленні 5% субстрату – 226 см³/год, 10% – 317 см³/год, 20% – 577 см³/год. Відхилення виходу біогазу від середнього значення, як правило, складають 6–8%. При збільшенні числа завантажень субстрату протягом доби відхилення виходу біогазу від середнього значення будуть зменшуватися.

На рис. 4 наведена залежність середнього виходу біогазу при поступовій подачі від відсотка оновлюваного субстрату, яка апроксимується лінійною функцією:

$$Q = 2504 \cdot D + 75,29 \text{ при } R^2=0,9902, \quad (1)$$

де: Q – вихід біогазу, см³/год; D – доля зміненого субстрату по відношенню до завантаженого, %.

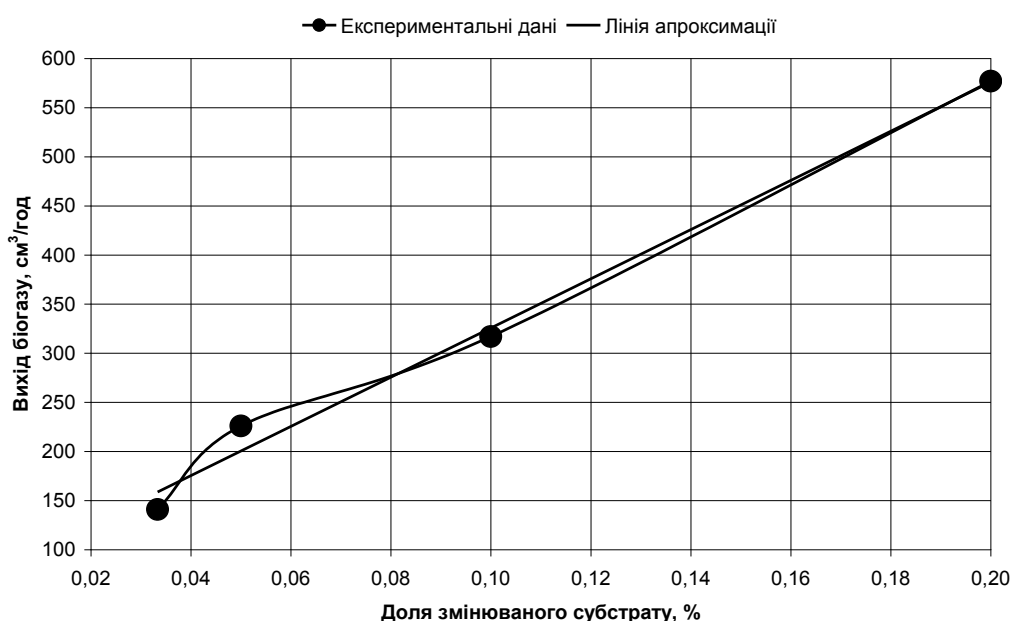


Рис. 4. Залежність середнього виходу біогазу при поступовій подачі субстрату від долі зміненого субстрату.

Слід зазначити, що при 50% одноразової щоденній зміні субстрату бродіння припиняється внаслідок вимивання маточної культури метаноутворюючих бактерій. При 30% зміні субстрату вихід біогазу не зменшується, але при цьому теплота згоряння біогазу, розрахована за методом [5], в результаті збільшення вмісту вуглекислого газу становить 12–13 МДж/м³ (проти 25 МДж/м³ за СОУ 24.14-3-561:2007 [6]). Тому, формула (1) дійсна при одноразовій щоденній зміні субстрату в метантенку не більше 30%. Розрахункові прогнозовані значення середнього виходу біогазу при бродінні гною ВРХ з додаванням 3% гліцерину від маси гною, встановлені за виразом (1), наведено в табл. 2. Для порівняння в табл. 3 наведені основні показники біогазової установки з метантенку об'ємом 10 м³ залежно від добового виходу біогазу з одиниці маси субстрату.

2. Розрахункові прогнозовані значення середнього виходу біогазу при бродінні гною ВРХ з додаванням 3% гліцерину від маси гною.

Щоденна зміна субстрату, %	Вихід біогазу, см ³ /год	Вихід біогазу, л/(кг·добу)
0	75,29	1,8
2	125,37	3,0
5	200,49	4,8
10	325,69	7,8
20	576,09	13,8
30	826,49	19,8

3. Основні показники біогазової установки з метантенку об'ємом 10 м³ залежно від добового виходу біогазу з одиниці маси субстрату.

Показатель	Одноразова щоденна зміна субстрату, %				
	2	5	10	20	30
Вихід біогазу, м ³ /добу	22,1	35,3	57,4	101,5	145,6
Об'єм біогазу, що використовується для корисних цілей, %:					
Січень	*	*	33,3	62,3	46,5
Лютий	*	*	33,4	62,4	46,6
Березень	*	*	33,9	62,6	47,0
Квітень	*	*	34,7	63,1	47,6
Травень	*	7,1	42,8	67,7	54,2
Червень	*	18,4	49,8	71,6	59,7
Липень	*	22,4	52,3	73,0	61,7
Серпень	*	18,8	50,1	71,8	60,0
Вересень	*	1,0	39,1	65,6	51,2
Жовтень	*	*	34,6	63,1	47,6
Листопад	*	*	34,0	62,7	47,1
Грудень	*	*	33,6	62,5	46,8
Коефіцієнт товарності	—	0,053	0,393	0,657	0,513

*виробленого біогазу не вистачає для підтримання температурного режиму метантенка.

Висновок. Поступова подача субстрату в метантенк забезпечує більший за обсягом і рівномірніший вихід біогазу в часі в порівнянні з періодичною подачею. При одноразовій щоденній зміні субстрату до 20% вихід біогазу зростає до 13,8 л/(кг·добу), при цьому теплота згорання біогазу становить 25 МДж/м³. Зростання одноразової щоденної зміні субстрату до 30% збільшує вихід біогазу до 19,8 МДж/м³, однак при цьому внаслідок підвищення вмісту в ньому вуглекислого газу теплота згорання знижується до 12–13 МДж/м³. У разі 50% зміні субстрату метанове бродіння припиняється внаслідок вимивання маточної культури метаноутворюючих бактерій.

Список літератури

1. Полищук В.Н. Исследование возможности использования сырого глицерина в качестве добавки к основному субстрату в биогазовых установках / В.М. Поли-

- щук, Н.Н. Лободко, А.В. Поліщук // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: Маркова АД, 2013. – Вип. 4. – Т.15.– ЦИТ. 413-0995. – С. 12–19.
2. Эдер Б. Биогазовые установки / Барбара Эдер, Хайнц Шульц. – М.: Колос, 2006. – 240 с.
3. Поліщук В.М. Біотехнологічні основи виробництва біогазу / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185. – Ч. 2 – С. 289–296.
4. Поліщук В.М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Сидорчук, О.В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185. – Ч. 3. – С. 180–191.
5. Поліщук В.М. Експрес-метод визначення теплотворної здатності біогазу / В.М. Поліщук, В.Є. Василенков, М.М. Лободко, В.С. Волошин // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 174. – Ч. 2 – С. 258–263.
6. СОУ 24.14-37-561:2007. Ефіри метилові жирних кислот для дизельних двигунів: – [Чинний від 2007-03-21] – Офіц. вид. – К.: Мінагрополітики України, 2007. – 14 с. – (Стандарт організації України).

Приведены результаты экспериментальных исследований производства биогаза при постепенной загрузке субстрата. Определена зависимость среднего выхода биогаза при постепенной подаче субстрата от процента обновляемого субстрата.

Биогаз, метантенк, косубстрат, постепенная загрузка, сырой глицерин, навоз КРС, биогазовый реактор.

The results of experimental studies of production of biogas at gradual loading of substrate. Determining the dependence of average yield of biogas at gradual supply of substrate from substrate percent updated.

Biogas digester, cosubstrate, progressive loading, crude glycerin, cattle manure, biogas reactor.

УДК 631.51.4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

І.Л. Роговський, Л.Л. Роговський, кандидати технічних наук

Наведено результати досліджень властивостей і розмірів деталей плунжерних пар після відновлення азотуванням, оксидуванням, карбонітруванням і роторним хромуванням.

Плунжерні пари, способи відновлення, властивості, приріст розмірів.

© І.Л. Роговський, Л.Л. Роговський, 2015

Постановка проблеми. До 50% несправностей дизельних двигунів приходяться на паливну апаратуру. У найважчих умовах працюють плунжерні пари паливних насосів, зумовлених динамічними навантаженнями і високим тиском, наявністю агресивних компонентів і абразивних частин у паливі, зношуванням.

У зв'язку з великою кількістю плунжерних пар і трудомісткістю їх виготовлення доцільно відновлювати їх деталі, забезпечивши необхідними за технічними умовами їх властивості.

Аналіз останніх досліджень. При відновленні прецизійних плужених пар, знос яких вимірюється десятками мікрметрів, є реальна можливість використати приріст розмірів деталей при хіміко-термічних методів зміцнення.

Так у роботі [1] встановлено, що газове азотування забезпечило приріст розмірів для сталі СК45 від 5 до 13 мкм, а сталі 41Cr4-10...28 мкм. При цьому азотування після поліпшення дало більший приріст ніж після нормалізації. Мікротвердість поверхні досягала 6000...11000 МПа залежно від складу сталей. Карбонітрування за температури 570°C, 6 год. збільшує діаметр зразків для сталі СК45 на 26...29 мкм, а легованої сталі 41Cr4 на 14...18 мкм.

Цементация [2] також призводить до приросту розмірів деталей. Так пластини із низько-вуглецевої сталі завтовшки 10мм після цементации за температури 910°C протягом 8 год. дали приріст розміру на 50 мкм, після наступного високого відпуску – 60 мкм, а після гартування і низького відпуску – 75 мкм. У стержнів із хромонікельмолібденової сталі діаметром 10 мм збільшення діаметра склало відповідно 35, 50, 55 мкм.

Істотне збільшення розмірів деталей забезпечує борування. Встановлено [3], що борування сталі 25Х5М5А в розплавах бури з карбідом бору за температур 950 і 1000°C протягом 2, 4 і 6 год. дало діаметральний приріст розмірів зразків на 28...56 мкм. Найбільший приріст (56...58 мкм) дає борування протягом 6 год. Борування за температури 1050°C протягом 6 год. дає значний приріст діаметра до 108 мкм. Однак після борування за температури 950°C з наступною термообробкою приріст розмірів зразків із сталі 25Х5МА менший і складає 18...24 мкм, а після борування за температур 1000 і 1050°C такий приріст ще менший – всього 4...18 мкм. Математичні залежності приросту розмірів сталевих і чавунних деталей після борування сталей 10, 30, У8, ШХ15, ХВГ залежно від температури процесу наведено в роботі [4]. Борування також збільшує зносостійкість сталі 25Х5МА в 2...3 рази, а наступне, після борування, гартування підвищує зносостійкість у 3,5...5 раз. Крім хіміко-термічних методів відновлення використовувалися залізнення, гальванічне електронатирання, хімічне нікелювання [5], які не рекомендовані через низьку

їх зносостійкість. Гальванічне хромування один із ефективних методів відновлення плунжерних пар, який забезпечує зносостійкість деталей вищу ніж для нових [6].

Вибір способів відновлення плунжерних пар визначається не лише досягненням необхідних розмірів але й забезпеченням підвищеної зносостійкості за рахунок твердості (мікротвердості), дисперсності карбідів, боридів та ін. твердих складових структури поверхневого шару.

Зносостійкість плунжерних пар залежить також від оптимального поєднання складу і властивостей матеріалу спряжених деталей, і в першу чергу їх поверхневих шарів [7]. Найвища зносостійкість досягається поєднанням різнойменних матеріалів, наприклад, електротехнічний хром і азотована сталь, що запобігає схвачуванню поверхонь тертя. Для забезпечення оптимального поєднання властивостей матеріалів деталей твердість (мікротвердість) спряжених поверхонь має відрізнятися на HB 50...100.

Таким чином необхідно перевірити можливість відновлення плунжерних пар азотуванням, боруванням та іншими способами хіміко-термічної обробки та використання електролітичного хромування однієї з деталей пари спряження.

Мета досліджень. Порівняння властивостей деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів після азотування, оксидірування, карбонітрування і роторного хромування для вибору найефективніших способів і їх режимів, які забезпечують необхідні механічні властивості і розмірні характеристики відновлювальних деталей.

Результати досліджень. Було проведені дослідження зносу плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60, які поступають на капітальний ремонт (табл. 1).

1. Знос деталей плунжерних пар насосів.

Деталь	Спрацювання до капітального ремонту, мкм	
	максимальний	середній
Плунжер	10	8
Втулка	14	12
Дозатор	5	5

Деталі плунжерної пари насосів ТНВД СМД-60 виготовляються із сталі 25Х5М. У процесі виготовлення ці деталі піддаються азотуванню у дві стадії: 1-а стадія 510...520°C, 30 год ступінь дисоціації 20-35%; 2-а стадія – 550...560°C, 31год, Ступінь дисоціації 40...60%, охолодження аміаком при 150°C, потім на повітрі. Після азотування твердість поверхні NV 8500; серцевини HRC 20...26, глибина азотованого шару 0,25...0,50 мм. Наведені дані (табл. 1) свідчать, що ма-

кимальний знос деталей плунжерних пар насосів ТНВД СМД-60 досягають 5...14 мкм, при високій твердості поверхонь тертя.

Таким чином з точки зору зносостійкості плунжерних пар доцільно використовувати методи відновлення, які забезпечують високу твердість поверхневих шарів і приріст розмірів деталей більших за їх знос, що забезпечує їх відновлення. Дослідження були виконанні на зношених деталях плунжерних пар насоса ТНВД СМД-60, які піддавались газовому і рідкому азотуванню, карбонітруванню, окискарбонітруванню з метою забезпечення ефективності і якості відновлення. Плунжери насосів ТНВД СМД-60 піддавались також роторному хромуванню. Після відновлення деталей наведеними способами зміна їх основних розмірів, наведена в табл. 2.

2. Зміна розмірів відновлених деталей плунжерних пар, мкм.

№ досл	Спосіб і режим відновлення	Збільшення діаметра плунжера	Зменшення діаметра отвору	
			корпуса (втулки)	дозатора
1	2	3	4	5
1	Заводський режим	12...19	11...21	8...12
2	Азотування за температури 500...520 °С; ступінь дисоціації аміаку 20...40%; тривалість – 26 год	3...6	9...14	12...16
3	Ті ж умови; тривалість – 52 год.	8...10	9...18	5...18
4	Ті ж умови; тривалість – 78 год.	10...18	10...24	10...11
5	Азотування за температури 590...610°С; ступінь дисоціації аміаку 40...60%; тривалість – 5 год; охолодження в оливі	20...45	26...37	18...45
6	Ті ж умови; тривалість – 6 год	30...36	20...32	10...37
7	Ціанування в розплаві 32% NaCNO, 38% KCl і 30% Na ₂ CO ₃ за т-ри 560...580°С – 5 год	9		
8	Ті ж умови тривалість 8 год	12		
9	Ті ж умови тривалість 10 год	10		
10	Окискарбонітрування в аміаку, вуглекислому газі і продування парою за т-ри 620...640°С – 7 год. Охолодження в оливі	18...30	51...54	13...16

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
11	Карбонітрування в аміаку і вуглекислому газі за т-ри 600...620°C – 8 год. Охолодження з піччю. Ступінь дисоціації аміаку 40...60%	37...38	40...53	15...18
12	Роторне хромування плунжера за т-ри 57...58°C; I=50А/дм ² , U=6...12В; тривалість – 60 хв.	48...50		

За даними табл. 2 азотування деталей плунжерних пар за заводським режимом забезпечує приріст діаметра плунжера 12...19 мкм, зменшення діаметра отвору корпусу до 11...21, дозатора до 8...12 мкм, що незначно перевищує їх допустимий знос при надходженні в ремонт (до 14 мкм).

Азотування за температури 500...520°C із збільшенням тривалості процесу з 26 до 78 год. дає незначний приріст діаметра плунжера в середньому від 4 до 14 мкм, зменшення діаметра отворів корпусу на 12...15 і дозатора на 10...12 мкм. Враховуючи наступне механічне оброблення азотування за заводським режимом і за температури 500...520°C не забезпечить відновлення деталей плунжерних пар.

Ціанування плунжерів тривалістю від 5 до 10 год дало приріст діаметра плунжера лише на 9...12 мкм, що менше ніж граничний знос і також не придатне для їх відновлення.

Серед досліджених способів відновлення деталей плунжерних пар найефективнішими є азотування деталей за температури 590...610°C тривалістю 5 год, окискарбонітрування і карбонітруванні, а для плунжерів і роторне хромування.

Перевищення приросту розмірів деталей після цих способів відновлення над їх максимальним зносом до капітального ремонту наведено в табл. 3.

3. Різниця між зміною діаметра деталей плунжерних пар насоса ТНВД СМД-60 і максимальним їх зносом до капітального ремонту, мкм.

Спосіб відновлення	Приріст діаметра плунжера	Зменшення діаметра	
		корпуса	дозатора
Азотування за температури 590...610°C, 5 год.	10...35	12...23	13...30
окискарбонітрування	8...20	37...40	8...11
карбонітрування	27...28	26...29	10...13
Роторне хромування	38...40		

Дані табл. 3 свідчать про достатній запас приросту діаметрів спряжених поверхонь деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів для відновлення їх після капітального ремонту.

Для оцінки якості відновлення деталей плунжерних пар вимірювали мікротвердість їх робочих поверхонь, які наведені в табл. 4.

4. Мікротвердість робочих поверхонь плунжерних пар.

Спосіб відновлення (зміцнення)	Назва деталі	Мікротвердість, МПа
Азотування за заводським режимом	Плунжер новий	7930
Азотування за заводським режимом	Плунжер зношений	8350
Азотування за заводським режимом зношеного плунжер	Плунжер відновлений	7930
Азотування за температури 590...610°C, 5 год	Плунжер	5720
	Корпус	5530
Аксикарбонітування	Плунжер	6770
	Корпус	7180
Карбонітування	Плунжер	6110
	Корпус	8240
Роторне хромування	Плунжер	9560

За даними досліджень (табл. 4) нові, зношені і плунжери відновлені по заводському режиму мають мікротвердість поверхні 7930...8350 МПа. Відновлення азотуванням за температури 590...610°C забезпечує дещо меншу мікротвердість поверхонь плунжера і корпуса, яка складає 5530...5720 МПа.

Це зумовлено вищою температурою процесу азотування. Але як свідчать досліді [1], виконані на азотованих сталях 28ХМЮА і 40Х, що азотування за вищих температур (620°C) значно перевершують зносостійкість цих сталей, азотованих за температури 560°C, хоч і мають меншу твердість.

Оксикарбонітування забезпечує мікротвердість робочих поверхонь плунжера і корпуса близьку до азотованих за заводським режимом деталей.

Карбонітування плунжера дало меншу мікротвердість 6110 МПа робочої поверхні, тоді як поверхня корпуса мала досить високу мікротвердість 8240 МПа.

Найвищу мікротвердість 9560 МПа відновленої поверхні плунжера було досягнуто після роторного хромування.

Для оцінки властивостей відновлених деталей у поверхневому шарі проведені вимірювання мікротвердості в їх перерізі.

Результати вимірювання мікротвердості в перерізі відновлених деталей подані на рис. 1 і рис. 2.

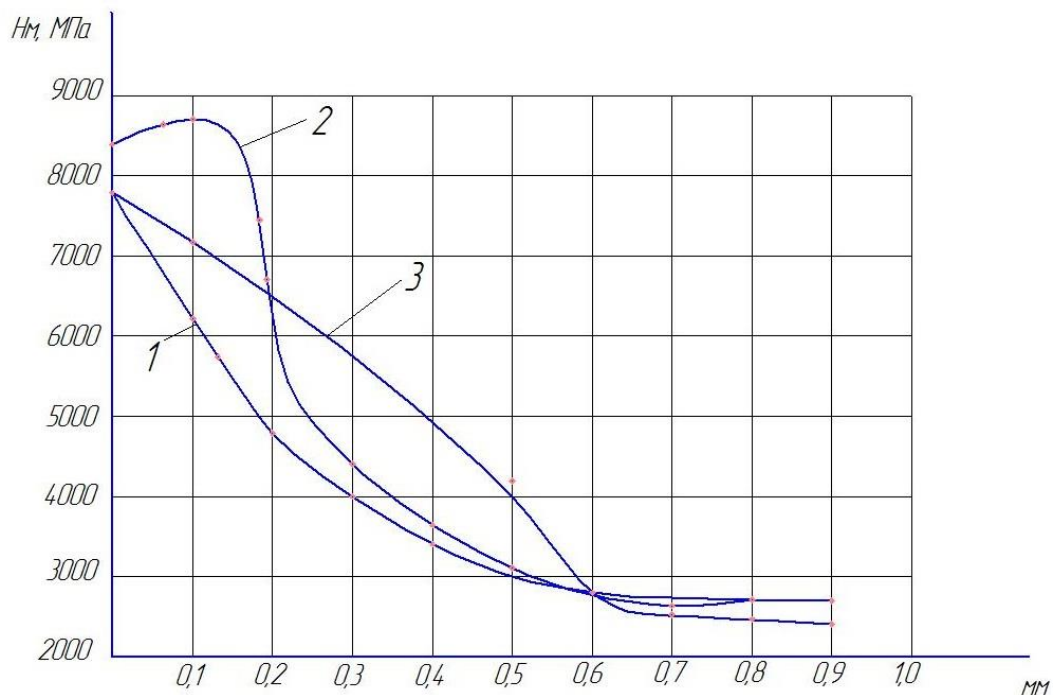


Рис. 1. Мікротвердість у перерізі плунжерів насоса ТНВД СМД-60; 1 – новий плунжер; 2 – зношений плунжер; 3 – плунжер відновлений азотуванням за заводським режимом.

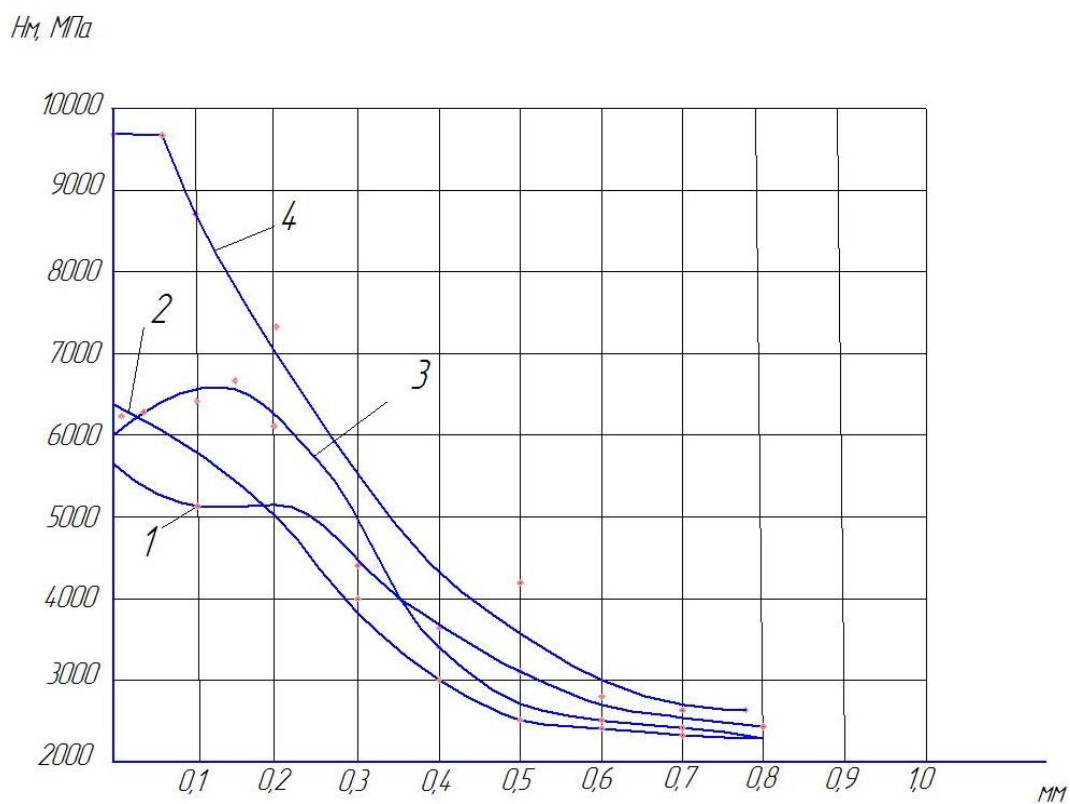


Рис. 2. Мікротвердість у перерізі плунжерів відновлених: 1 – азотуванням за 590...610°C; 2 – карбонітруванням; 3 – оксинітруванням; 4 – роторним хромуванням.

Встановлено, що мікротвердість нового (рис. 1, крива 1) і відновленого (рис. 1, крива 3) плунжерів на глибині до 0,1 мм складає 7200...7930 МПа. При цьому глибина азотованого (зміцненого) шару склала 0,2...0,3 мм для нового і зношеного плунжерів. Зношені плунжери навіть мали більшу до 8350...8590 МПа мікротвердість. Товщина зміцненого шару відновленого за заводським режимом плунжера (рис. 1, крива 3) досягала до 0,35...0,45 мм за більшої (4710...6370 МПа) мікротвердості на такій глибині.

Дослідження мікроструктури нових, зношених і відновлених за заводським режимом плунжерів засвідчило, що зміцнені шари мають структуру азотистого сорбіту, а серцевини сорбіту, не відрізняються між собою.

Як засвідчили дослідження відновлення зношених плунжерів азотуванням за температури 590...610°C, 7 год (рис. 2, крива 1) забезпечує дещо меншу мікротвердість 5210...5720 МПа на глибині до 0,15 мм, за дещо більшої глибини азотованого шару 0,35...0,4 мм.

Карбонітрування дає вищу 5350...6110 МПа (рис. 2, крива 2) мікротвердість поверхневого шару на глибині до 0,15 мм ніж азотування за температури 590...610°C (рис. 2, крива 1) при глибині зміцненого шару 0,2...0,3 мм.

Оксікарбонітрування (рис. 2, крива 3) забезпечує ще вищу мікротвердість поверхневого шару ніж карбонітрування, яка на глибині 0,1...0,2 мм складає 6370...6770 МПа за глибини зміцненого шару 0,25...0,35 мм.

Найбільшу мікротвердість 9560...10150 МПа поверхневого шару плунжера забезпечує роторне хромування (рис. 2, крива 4). Товщина шару хрому досягає до 50 мкм. Значного вища мікротвердість 7180...8380 МПа поверхневого шару на глибині до 0,2 мм порівняно з іншими способами відновлення. Крім того загальна товщина зміцненого шару більша і досягає 0,3...0,4 мм.

Мікроструктура серцевини відновлених цими способами плунжерів істотно не відрізняються порівняно із азотуванням за заводським режимом.

Висновки

За результатами виконаних досліджень ефективності способів відновлення деталей плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60 можна зробити такі висновки.

1. Деталі плунжерних пар паливних насосів не можна відновити азотуванням за заводським режимом, бо зміна (приріст) діаметрів їх робочих поверхонь складає: для плунжера 12...19 мкм, корпуса 11...21 мкм, дозатора 8...12 мкм, що є недостатнім тому, що максимальний знос складає для плунжера – 10 мкм, корпуса – 14 мкм, дозатора 5 мкм і необхідне шліфування та притирання цих деталей.

2. Азотування за температури 500...520°C і тривалості 26, 52 і 78 год забезпечує збільшення діаметра плунжера на 3...18 мкм, зменшення діаметрів отвору корпусу на 9...24 мкм і дозатора на 5...18 мкм, що недостатньо для відновлення цих деталей.

3. Ціанування плунжерів тривалістю 5,8 і 10 год дає приріст його діаметра лише на 9...12 мкм, що недостатньо для відновлення.

4. Деталі плунжерних пар можна відновити азотуванням за температури 590...610°C протягом 5 год, оксікарбонітруванням, карбонітруванням і роторним хромуванням.

5. Азотування за температури 590...610°C, 5 год, оксікарбонітрування і карбонітрування забезпечують приріст розмірів відновлених деталей: для плунжера, відповідно, 20...45 мкм, 18...30 мкм і 37...38 мкм; для корпусу, відповідно, 26...37 мкм; 51...54 мкм і 40...53 мкм; для дозатора, відповідно, 18...45 мкм; 13...16 мкм і 15...18 мкм, що значно перевершує максимальний знос цих деталей.

6. Перевищення приросту розмірів робочих поверхонь деталей плунжерних пар над їх зносом складає:

- після азотування за температури 590...610°C, 5 год для плунжера 10...35 мкм; корпусу – 12...23 мкм і дозатора 13...30 мкм;

- після оксікарбонітрування: для плунжерів 8...20 мкм, корпусу 37...40 мкм, дозатора 13...30 мкм;

- після карбонітрування: для плунжера 27...28 мкм, корпусу 26...29 мкм, дозатора 13-30 мкм;

- після роторного хромування плунжера 38...40 мкм.

7. Мікротвердість поверхні відновлених деталей складає після:

- азотування плунжера за заводським режимом ту ж, що й для нового – 7930 МПа;

- азотування плунжера і корпусу за температури 590...610°C, 5 год значно менша – 5530...5720 МПа;

- оксікарбонітрування – 6770...7180 МПа, а карбонітрування – 6110...8240 МПа;

- роторного хромування плунжера – 9560 МПа.

8. Товщина зміцненого шару відновлених деталей склала після:

- азотування за заводським режимом 0,35...0,45 мм при мікротвердості 4710...6370 МПа;

- азотування за температури 590...610°C – 0,35...0,4 мм при мікротвердості 5210...5720 МПа;

- карбонітрування 0,2...0,3 мм при мікротвердості 5350...6110 МПа;

- оксікарбонітрування – 0,25...0,35 мм при мікротвердості 6370...6670 МПа;

- роторного хромування до 50 мкм при мікротвердості шару 9560...10150 МПа.

Список літератури

1. *Роговський І.Л.* Фактори впливу на надійність сільськогосподарських машин в системі технічного обслуговування / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 2. – С. 244–253.
2. *Роговський І.Л.* Стандартизація оцінки технічного рівня сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський, О.В. Дубровіна* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 1. – С. 236–246.
3. *Роговський Іван.* Методика прогнозування остаточного ресурса механізмів сільськогосподарських машин / *Іван Роговський, Ольга Дубровіна* // *Motrol: Motorization and power industry in agriculture.* – 2012. – Том 14, №3. – Р. 200–205.
4. *Роговський І.Л.* Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливоподачі низького тиску сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський, Д.Ю. Калініченко, В.Л. Кушлянський* // Збірник тез доповідей XIII всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (11-15 березня 2013 року) / Навчально-науковий технічний інститут Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – С. 121–122.
5. *Большаков В.Н.* Необхідність моніторингу в інноваційній діяльності АПК України в межах правового регулювання / *В.Н. Большаков, І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 2. – С. 384–390.
6. *Большаков В.Н.* Моніторинг техніки – джерело інноваційної політики в АПК України в межах правового регулювання / *В.Н. Большаков, І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 3. – С. 334–338.
7. *Мельник В.І.* Функціонування ринків в проекті інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу / *В.І. Мельник, З.В. Ружилю, І.Л. Роговський, С.З. Хмельовська* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С. 366–376.
8. *Роговський І.Л.* Стохастичність забезпечення працездатності сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 226–232.

Приведены результаты исследования свойств и изменения размеров деталей плунжерных пар топливных насосов после восстановления азотированием, оксикарбонитрированием, карбонитрированием и роторным хромированием.

Плунжерные пары, восстановление, способы, свойства.

Results of research of properties and change of sizes of details of plunger pairs of fuel pumps after restoration are given by nitriding, an oxidized carbon nitridation, carbon nitridation and chromium of rotor plating.

Plunger couples, restoration, ways, properties.

ЕВТЕКТИЧНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ: ОТРИМАННЯ ПРИ СВЧ НАГРІВАННІ, СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ

***М.І. Пашечко, доктор технічних наук
Люблінський політехнічний інститут (Польща)
М.І. Денисенко, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

У роботі досліджено вплив технологічних параметрів насичення і абразивного руйнування по незакріпленим часткам робочих органів сільськогосподарських машин та зміну стану поверхонь тертя евтектичних покриттів на конструкційних сталях (сталь 45 і 65Г).

Абразивне зношування, леміш плуга, евтектичні покриття, самозагострювання леза, зміцнення поверхні.

Постановка проблеми. Підвищення надійності та довговічності деталей машин та механізмів – одне з основних завдань машинобудування, яке значною мірою обумовлює економічний розвиток України і є невід'ємною й важливою ланкою науково-технічного прогресу. Актуальність проблеми підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин з кожним роком зростає.

Це пояснюється тим, що зростають вимоги до надійності машин, безперервно збільшуються швидкості руху, продуктивність і, відповідно інтенсивність експлуатації. В практиці безліч випадків, коли низька довговічність деталей робочих органів обмежує можливості подальшого підвищення техніко-економічних показників машин. В сільськогосподарських машинах такими деталями є лапи культиваторів, леміші плугів, ножі кормозбиральних машин та подрібнювачів кормів, сегменти ріжучих апаратів косарок, ріжучі пари машинок для стрижки овець. Малий термін служби цих деталей визиває необхідність виготовлення величезної кількості їх в якості запасних частин, суттєво зменшується продуктивність машин. Так, наприклад, до впровадження нових методів зміцнення граничне затуплення ріжучих пар стригальних машинок утворюється через 1,5–2 години безперервної роботи, сегментів косарок-через 4–6 годин, лап культиваторів через 6–8 годин, після чого у польових умовах необхідно було загострювати леза [1]. Сучасне сільськогосподарське машинобудування України потребує надійні робочі органи, які повинні мати

© М.І. Пашечко, М.І. Денисенко, 2015

високу міцність і пластичність, зносо- і корозійну стійкість. При цьому важлива роль належить розробленню нових матеріалів для конструкційних елементів, які зазнають зношування.

Отримання евтектичних сплавів на основі системи Fe-Mn-C-B дозволяє вибрати сплави з відповідним умістом легувальних елементів (наприклад Si, Ni, Cr, W, V та інші), як складових, що забезпечують задані властивості, котрі потрібні під час проектування відповідної пари тертя.

Аналіз останніх досліджень. Для поверхневого зміцнення металів і сплавів з утворенням евтектичного шару звично використовують обмазки (пасти) з наступним короткочасним (2–30 сек) нагріванням СВЧ [2, 3, 4]. А. Пінйоччо, Р. Кахик запропонували спосіб борування деталей машин, працюючих в умовах абразивного зношування при 811–1144 К, котрий закладається в наступному. Деталь нагрівають до 1033–1366 К (оптимальна температура нагрівання 1253 К) та укладають у піщану форму. Зверху засипають алюмотермічний шар і обкладають його пластинами графіту. Потім суміш підпалюють. Її товщина підбирається таким чином, щоби у процесі горіння забезпечувалась необхідна температура та тривалість ізотермічної витримки [5].

Для отримання багатокомпонентних покриттів та збільшенню товщини дифузійного шару попередньо насичують поверхневий шар виробу елементом, що знижує його температуру плавлення. Потім здійснюють насичення при температурі плавлення отриманого у поверхневому шарі сплаву [6].

Отримані теоретичні результати по розподіленню концентрації елементів за умови концентраційної залежності коефіцієнту дифузії і швидкості зміни евтектичної концентрації за глибиною і в часі [2] однозначно дозволяють встановити послідовність їх дифузії в сталь [3]. Пере розподілення бору, марганцю, кремнію та легуючих елементів відбуваються у рідкій фазі, яка утворюється в результаті (КЕП) контактного евтектичного плавлення вуглецю з залізом і розплавлення порошку [2]. Ведуча роль у формуванні евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B при КЕП з металом основи (γ -залізо) припадає на вуглець і бор [4]. На основі результатів проведених теоретичних і експериментальних досліджень можливо стверджувати, що в процесі контактного евтектичного плавлення елементів порошкової суміші з металом основи першим в залізо дифундує вуглець, утворюючи Fe_3C або залишаючись у вільному стані. Бор розподіляється у рідкій фазі, він легує цементит, утворюючи $\text{Fe}_3(\text{C}, \text{B})$. Температура плавлення бороцементиту 1373 К.

Утворення метастабільного карбїду $\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}$ (стабільна фаза $(\text{Fe}, \text{M})_{23}(\text{C}, \text{B})$), твердих розчинів Mn, Ni, Cr, Si в α і γ залізі відбу-

вається в рідкій фазі, що утворюється на поверхні металу. Структура і властивості евтектичних покриттів регулюються концентрацією елементів порошкового матеріалу, їх співвідношенням при температурі утворення евтектики, а також розглянутими технологічними факторами [5]. Аналіз літературних джерел по впливу температури і часу насичення на глибину дифузійного шару показав, що з підвищенням температури, швидкість наростання товщини зміцненого шару суттєво зростає. Зростання глибини дифузійного шару, як функції температури підпорядковується експоненціальній залежності.

З ціллю інтенсифікації процесів високотемпературної (1162K) швидкісної газової цементації [6], цементації у рідкому середовищі, розплавлені солі або водні розчини відповідних з'єднань [7], дифузійного ціанування [8], хромування [9], борування і хромування з використанням спеціальних обмазок (паст) використовується нагрівання СВЧ, що дозволяє скоротити вказані процеси від декількох годин до 45-75 секунд. При цьому товщина ущільненого шару все ж обмежується глибиною дифузійного проникнення активних атомів насичуючої суміші у тверду підкладку і звично складає не більше 10^{-3} м.

Метою досліджень є дослідження закономірностей формування структури і властивостей евтектичних покриттів, отриманих при розплавленні порошкових сумішей на основі заліза, та їх впливу на працездатність сталі при зношуванні.

Результати досліджень. Процес нанесення зміцненого шару на робочу поверхню деталі складається з наступних операцій: підготовка порошкових наплавочних матеріалів, підготовка деталі для зміцнення, налагодження режиму, нанесення шару зміцнення, охолодження деталі, механічна обробка, контроль якості. При реалізації відомого методу [6] за 10 секунд при товщині суміші 3 мм, і нагріванні СВЧ до 1553 К на сталі 45 отримують покриття товщиною 0,7 мм. Таким чином, запропонований спосіб дозволяє у 2 рази наростити товщину зміцненого шару.

Вибір методів поверхневого легування здійснюється з врахуванням вимог до властивостей покриттів (фізико-механічні властивості, адгезія з основним металом або сплавом, корозійна та зносоустійкість, товщина покриття, якість отриманої поверхні). Раніше нами для отримання на металах і сплавах ЕП на основі заліза використовували твердий(твердо фазний) метод насичення з порошкових сумішей і обмазок (шлікерний спосіб). При цьому використовували пічне нагрівання суміші, нагрівання СВЧ при нанесенні покриттів на зовнішню і внутрішню (методом відцентрової біметалізації) поверхні, а також поверхневе легування сталевих литва [7–9]. Отримані такими способами ЕП характеризуються хорошою адгезією з основним металом, що досягається зустрічною дифузією атомів елементів підк-

ладки та реакційної суміші, що призводить до контактного евтектичного оплавлення перехідної зони метал-покриття. Експерименти виконані на зразках зі сталей 20, 45, У8, 20Х і 65Г. Нанесення евтектичних покриттів здійснювали за швидкісного пічного нагрівання і нагріву СВЧ до температури 1553К на протязі 2–40 с.

Розроблені евтектичні сплави являють собою композиційні багатофазові дисперсійно зміцнені сплави із градієнтом структури. Структура сплавів системи Fe-Mn-C-B складається з евтектики типу легований ферит (аустеніт) (м'яка фаза-основа) – марганцевистий карбід заліза $Fe_{0,4} Mn_{3,6} C$ (каркас). Дисперсійне зміцнення сплаву відбувається наприклад, карбідом хрому $Cr_7 C_3$ та боридом заліза $Fe_2 B$ (рис. 1).

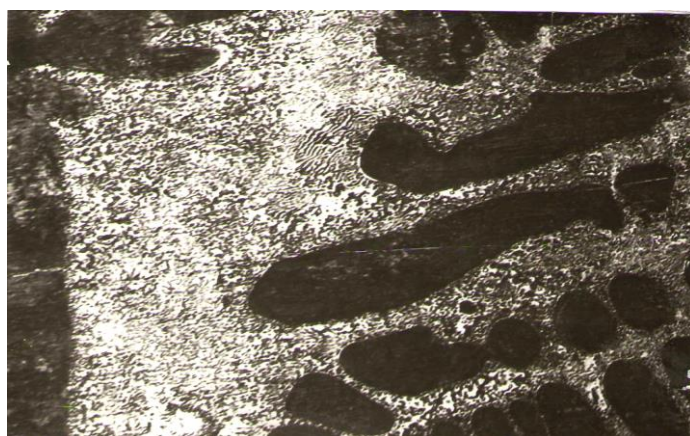


Рис. 1. Мікроструктура евтектичного покриття(ЕП) №1, (х 400).

При нагріванні СВЧ також формуються мікро ділянки α -заліза, γ -(Fe, Ni) і γ -(Fe, Cr) шириною до 35 мкм при збереженні фазового складу покриттів. Це визвано зростанням тривалості процесу наплавлення, котра для деталі діаметром перерізу 20 мм, довжиною 100 мм складає близько 0,5 хвилин. В покриттях системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni, Fe-Mn-C-B-Si-Cr і Fe-Mn-C-B-Si-Ni Cr формуються у ділянці сплавлення легованого нікелем або хромом аустенітний шар товщиною до 15 мкм. [10].

Сутність способу утворення ЕП великої товщини, полягає в тому, що у складі порошкових сумішей можливо використання більшості елементів Періодичної системи, заключається у нагріванні металу або сплаву з порошковою сумішшю до температури плавлення легкоплавких компонентів суміші (СЧ 20, Ф Мп 1,5), за умови, що у складі суміші є елементи (зокрема, С, В), які утворюють з металом підкладки евтектику при температурі, що менше температури насичення. Формування евтектичних покриттів відбувається за контактного і безконтактного насичення. За безконтактного насичення товщина зміцненого шару обмежена товщиною КЕП елементів суміші і

металу підкладки, і не перевищує на конструкційних сталях 10^{-3} м. Товщина наплавленого шару визначається кількістю порошкової суміші та глибиною КЕП металу, що зміцнюємо, а фізико-механічні властивості-особливостями КЕП, і характером взаємодії елементів порошкових сумішей при T_n . При концентрації 0,5...0,6% і вище кремній розглядаємо як легуючий елемент, котрий підвищує твердість, і межу міцності сплав при високих температурах і опору корозії при низьких, та знижує пластичність.

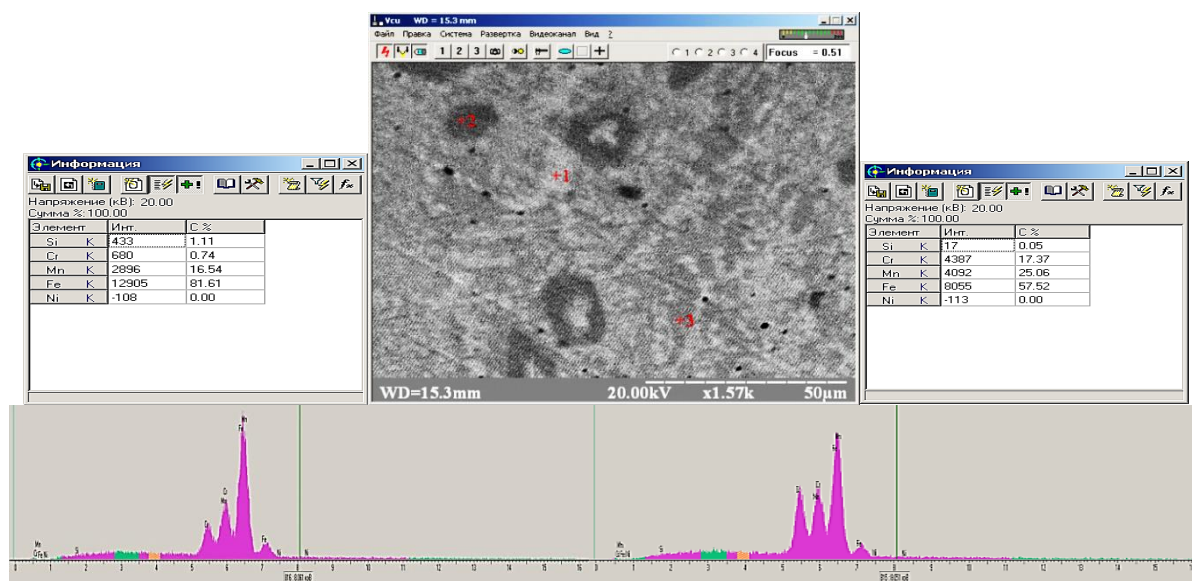


Рис. 2. Електронна мікроскопія і хімічний аналіз характерних ділянок структури евтектичного покриття.

Залізо-основний елемент, що входить в склад зміцнених виробів, утворюючи тверді розчини, хімічні з'єднання і карбідоутворюючий елемент. Вуглець і бор утворюють з залізом діаграми евтектичного типу, а також високоміцні карбіди і борида заліза. Карбіди марганцю Mn_3C і заліза Fe_3C розчинюються практично без обмеження. Треба відмітити, що зростання вмісту марганцю у сталі, підвищує ступінь дисперсності перліту. При концентрації 0,5...0,6 % і вище кремній розглядається як легуючий елемент, котрий декілька підвищує твердість, і межу міцності сплавів при високих температурах, і опір корозії при низьких, та знижує пластичність (рис. 2.)

Сплав системи Fe-Mn-C-B отримали шляхом індукційного нагрівання або при пічному нагріванні наступним чином. Порошкову суміш засипали у вогне опірну форму, кварцитовий або карбо корундовий тигель, нагрівали СВЧ, або розміщували у попередньо нагріту до $1280^{\circ}C$ піч (час витримки 10 хвилин, час ізотермічної витримки 8 хвилин). Процес нанесення зміцнюючого шару на робочу поверхню деталі складається з наступних операцій: підготовка порошкових матеріалів, підготовка деталі для зміцнення, налагодження режиму

зміцнення, нанесення зміцнюючого шару, охолодження деталі, механічна обробка, контроль якості.

Як показали рентгеноструктурні дослідження, зміцнені шари, отримані при нагріванні СВЧ з використанням суміші системи Fe-Mn-C-B, містять в якості основної фази γ -Fe. В наплавлених шарах встановлено наявність карбідів $\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}$, Fe_3C , і як наслідок, домішки Fe₂B-фази.

Висновки

1. Евтектичне покриття утворюється в процесі контактного евтектичного плавлення елементів порошкової суміші і насичуємого металу

2. Отримані функціональні евтектичні покриття можливо використовувати у сільськогосподарському машинобудуванні для зміцнення поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних машин (леміш плугу, лапа культиватора, диск борони).

Список літератури

1. Голубец В.М. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe-Mn-C-B / В.М. Голубец, М.И. Пашечко. – К.: Наукова думка, 1989. – 160 с.
2. Голубец В.М. О приближенном вычислении концентрации элементов покрытия при условии функциональной зависимости от нее коэффициента диффузии / В.М. Голубец, М.И. Пашечко, Ю.И. Ковальчик. – Львов: ФХММ, 1988. – №5. – С. 47–51.
3. Пашечко М.И. Приближенное вычисление скорости контактного эвтектического плавления в системах на основе железа / М.И. Пашечко, В.М. Голубец, Ю.И. Ковальчик. – Львов: ФХММ, 1990. – №3. – С. 90–97.
4. Пашечко М.И. Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий / М.И. Пашечко, В.М. Голубец, М.В. Чернец. – К.: Наукова думка, 1993. – 342 с.
5. Формирование эвтектических покрытий различного функционального назначения / [В.М. Голубец, М.И. Пашечко, И.Б. Стефанишин, Ю.И. Ковальчик, А.Б. Гасий] // Защитные покрытия на металлах. – К.: Наукова думка, 1992. – С. 1–6.
6. А.с. 1062305 СССР. Состав обмазки для комплексного насыщения стальных изделий / М.И. Пашечко, В.М. Голубец, В.Г. Процик и др. – Опубл. 23.12.83, Бюл. №47.
7. Голубец В.М. Термодинамический анализ взаимодействия компонентов порошковой смеси в процессе формирования эвтектического покрытия / В.М. Голубец, М.И. Пашечко, О.Н. Макаренко. – Львов: ФХММ, 1985. – №1. – С. 39–42.
8. Похмурский В.И. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий / В.И. Похмурский, В.Б. Далисов, В.М. Голубец. – К.: Наукова думка, 1980. – 188 с.
9. Голубец В. О расчете долговечности диффузионных покрытий при абразивном изнашивании / В. Голубец, М. Чернец. – Львов: ФХММ, 1983. – №6. – С. 110–114.
10. Таран Ю. Структура эвтектических сплавов / Ю.Таран, В. Мазур. – М.: Металлургия, 1978. – 311 с.

В работе исследовано влияние технологических параметров насыщения и абразивного разрушения по незакрепленным частицам рабочих органов сельскохозяйственных машин и изменение состояния поверхностей трения эвтектических покрытий на конструкционных сталях (сталь 45 и 65Г).

Абразивное изнашивание, лемех плуга, эвтектические покрытия, самозатачивание лезвия, упрочнение поверхности.

In paper influence of technological parameters of saturation and abrasive destruction on loose particles of working bodies of farm machines and change of condition of surfaces of friction of the eutectic coverings on constructional steels (steel 45 and 65Г) is investigated.

Abrasive wear, plow ploughshare, eutectic coverings, self-sharpening of an edge, hardening of surface.

УДК 662.767.3

СОБІВАРТІСТЬ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко, кандидати технічних наук

Змодельована собівартість зберігання насіння олійних культур. Встановлені залежності собівартості зберігання насіння олійних культур від його вологості, засміченості, урожайності (маси зберігання) та технологічного обладнання

Олійні культури, озимий ріпак, соя, соняшник, олія, зберігання, собівартість, урожайність, вологість, засміченість

Постановка проблеми. В результаті переробки насіння олійних культур отримується близько 30–40% рослинної олії і 60–70% макухи або шроту. Рослинна олія є цінним харчовим продуктом, який експортується із України в багато країн світу. Вона застосовується для виробництва маргарину, майонезу, кондитерських виробів тощо. Крім того, олія може перероблятися метиловий ефір, який є заміником нафтового дизельного палива. Макуха або шрот – цінний корм для сільськогосподарських тварин.

Однак насіння після збирання на зразу поступає на переробку. Свіжозібрана зернова маса неоднорідна за вологістю і стиглістю окремих зерен, має високу фізіолого-біохімічну і мікробіологічну

© В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко, 2015

активність, понижені енергію проростання та схожість, погані технологічні властивості. Для доведення насіння до нормального стану воно повинно пройти стадію післязбирального дозрівання, яка може сягати до декількох місяців. Крім того, потужності підприємств олієжирового комплексу та установок для виробництва біопалива не можуть переробити все насіння відразу. Тому насіння олійних культур до їх направлення на переробку необхідно зберігати певний час, адже від втрат насіння та зменшення в ньому вмісту олії залежить собівартість кінцевого продукту.

Аналіз останніх досліджень. В роботах [1, 2] доведено, що на зберігання насіння олійних культур впливають його засміченість і температура довкілля. Згідно із [3], на збереженість насіння олійних культур великий вплив має підвищений вміст обрешеного і битого насіння. Це насіння першим піддається пліснявінню, що пошкоджує, насамперед, зародок. Олія з нього швидко гіркне, оскільки доступ повітря до такого насіння полегшений через відсутність плодової оболонки (лушпиння). Технології та технічні засоби зберігання олійних культур наведені в [4]. Разом із тим, вплив вищенаведених факторів на собівартість зберігання насіння олійних культур в літературних джерелах не наведено.

Тому **метою** наших **досліджень** є встановлення функціональної залежності собівартості зберігання насіння олійних культур від вологості насіння, його засміченості і типу обладнання, яке застосовується для підготовки насіння до зберігання.

Результати досліджень. Ефективність зберігання насіння олійних культур (ріпаку, соняшнику і сої) визначалось із застосуванням технологічної карти зберігання (табл. 1), розробленої відповідно до рекомендацій, наведених в [4].

1. Технологічна карта зберігання насіння олійних культур.

Найменування технологічної операції	Назва агрегату чи лінії	Кількість, шт
Зважування насіння	СВ-20000А/9	1
Попереднє очищення насіння	ЗАВ-20	1
Сушіння насіння	Сушарка шахтна	1
	Теплогенератор	1
Первинне очищення насіння	ЗАВ-20	1
Транспортування відходів на виробництво комбікорму	КАМАЗ-43253	1
	Зерносклад ангарного типу	1
	Конвеєр стрічковий	4
	Норія НПЗ-40	2
Зберігання насіння в складі	Ваги зернові Д-100-3	1
	Установка активного вентилявання СВУ-1 з вентилятором ВМЭ-6	1
Транспортування насіння на переробку	КАМАЗ-43253	1

Ефективність зберігання насіння олійних культур, зібраних з площі 100 га, визначалась при його сушінні сушаркою ДСП-10 в комплекті з теплогенератором ТАУМ-0,85, що працює на нафтовому дизельному паливі, сушаркою ДСП-10 в комплекті з теплогенератором ТАУМ-0,85-01, що працює на природному газі, зерносушильним комплексом КС-8 в складі зерносушарки ЗШ-8000 і теплогенератора ТГС-500, що працює на соломі в рулонах. Продуктивність та витрата електроенергії і палива при очищенні і сушінні насіння визначалась із [5]. Витрата теплоти при сушінні насіння розраховувалась за методикою, наведеною в [6]. Норми продуктивності і норми витрати палива автомобілем при перевезенні вантажу визначались із [7, 8]. Погодинна тарифна ставка механізаторів і робітників ручної праці на нарахування та їх зарплату визначається згідно із [9]. Ціна на паливно-мастильні матеріали, трактори, автомобілі, сільськогосподарську техніку, добрива, засоби захисту рослин тощо приймалися із прас-листів. При розрахунках вважалось, що час зберігання насіння в сховищах становив 3 місяці. Нормативна вологість насіння олійних культур для закладання на зберігання приймалась: соняшнику – 7%, ріпаку – 8%, сої – 12% [10].

Результати визначення собівартості зберігання насіння олійних культур залежно від їх врожайності (а отже, і загальної маси), засміченості і вологості наведені на рис. 1 – рис. 4.

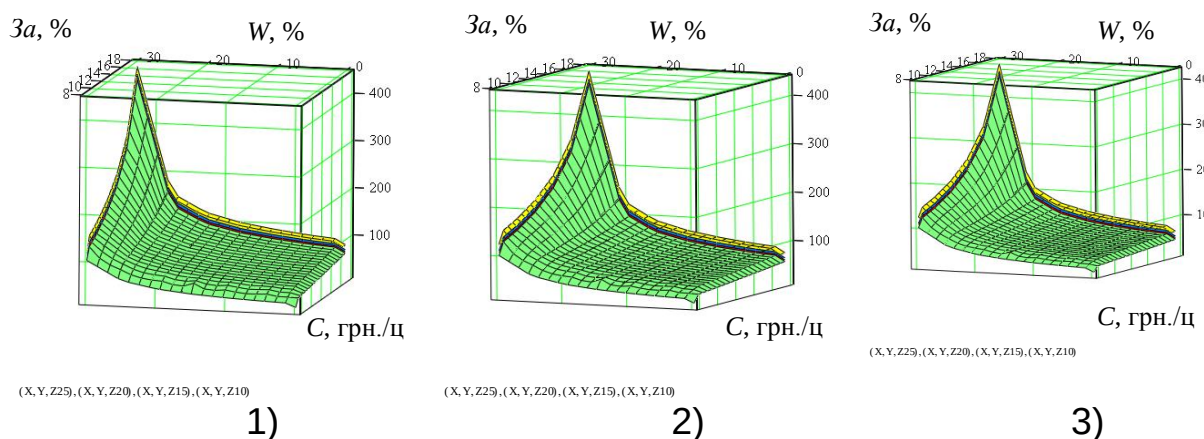
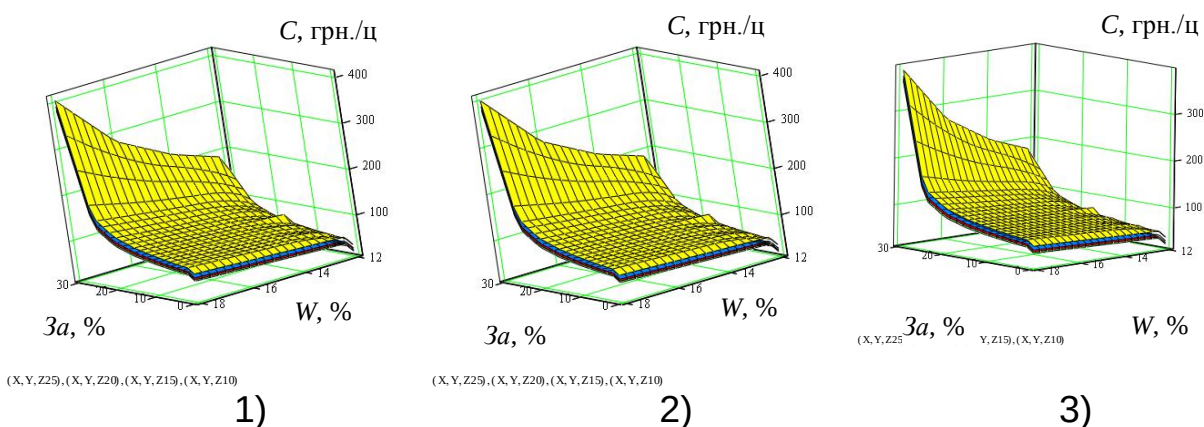
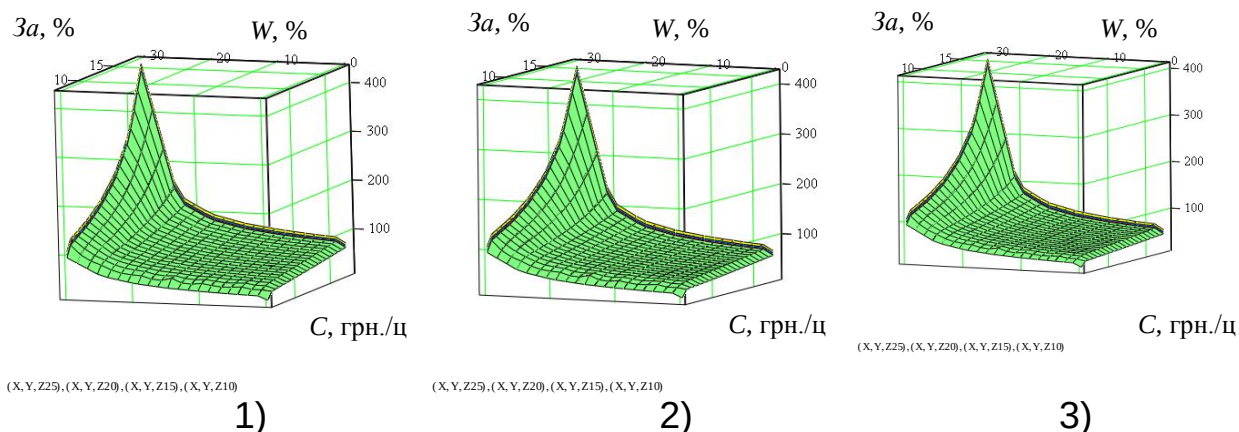


Рис. 1. Залежність собівартості зберігання насіння ріпаку, зібраного з площі 100 га, від його засміченості і вологості, при висушуванні на сушарці: 1 – ДСП-10 на дизпаливі; 2 – ДСП-10 на природному газі; 3 – КС-8 на соломі в рулонах; при врожайності ■ – 25 ц/га; ■ – 20 ц/га; ■ – 15 ц/га; ■ – 10 ц/га.

Із них видно, що на собівартість зберігання олійних культур суттєвий вплив здійснюють засміченість та вологість зерна, що поступає на зберігання. Так, при відсутності засміченості насіння і його вологості на рівні, що рекомендується для зберігання насіння, собі-

вартість зберігання насіння ріпаку протягом 3 місяців (враховуючи операції підготовки насіння до зберігання) становить від 21 до 37 грн/ц при зберіганні від 2500 до 1000 ц насіння відповідно, насіння соняшнику – від 20,3 до 28,2 грн/ц при зберіганні від 3000 до 1500 ц насіння відповідно, сої – від 22,3 до 36,8 грн/ц при зберіганні від 2200 до 1000 ц насіння, відповідно.

При поступленні на зберігання вологого незабрудненого насіння затрати на його зберігання зростають в 1,3–2,0 рази (при вологості, що трохи перевищує рекомендовану для зберігання) за рахунок затрат на сушіння і становлять:



– для ріпаку: 32–52 грн/ц при вологості, що дещо перевищує 8%; при зростанні вологості затрати зростають і при $W=18\%$ становлять 46–63 грн/ц;

– для соняшнику: 30–42 грн/ц при вологості, що дещо перевищує 7%; при зростанні вологості затрати зростають і при $W=18\%$ становлять 45–72 грн/ц;

– для сої: 37–57 грн/ц при вологості, що дещо перевищує 12%; при зростанні вологості затрати зростають і при $W=18\%$ становлять 46–74 грн/ц.

Зростання затрат на зберігання при збільшенні вологості насіння обумовлене зменшенням продуктивності сушарок і збільшенням часу їх роботи, а також збільшенням витрат палива на сушіння і а також втратам маси насіннєвого вороху в результаті видалення вологи.

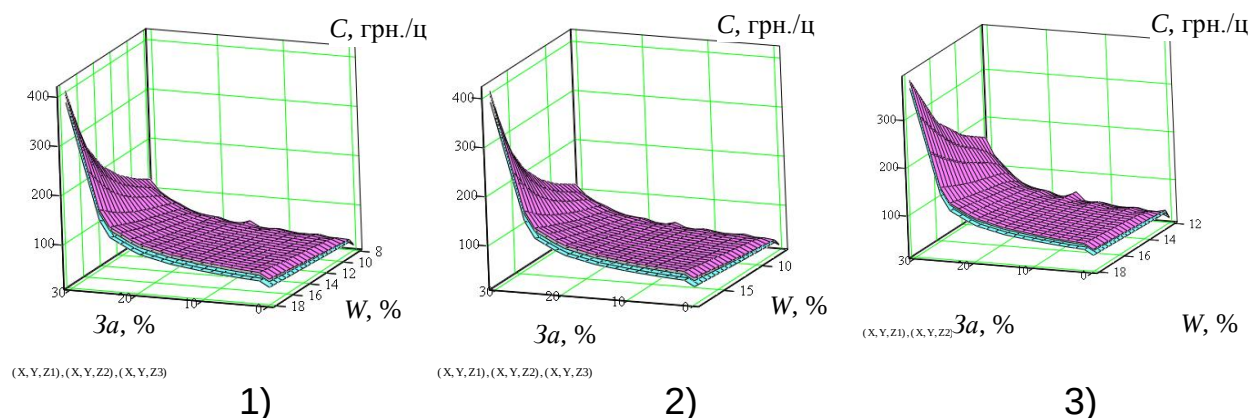


Рис. 4. Залежність собівартості зберігання насіння олійних культур, зібраних з площі 100 га, від його засміченості і вологості: 1 – ріпак врожайністю 25 ц/га; 2 – соняшник врожайністю 25 ц/га; 3 – соя врожайністю 22 ц/га; при сушінні на: – ДСП-10 на дизпаливі; – ДСП-10 на природному газі; – КС-8 на соломі в рулонах.

При поступленні на зберігання забрудненого сухого насіння затрати на його зберігання зростають в 1,2–1,4 рази (при незначній забрудненості) за рахунок затрат на очищення і становлять:

– для ріпаку: 29–45 грн/ц при низькій забрудненості; при зростанні забрудненості затрати зростають і при $Za=30\%$ становлять 100–110 грн/ц;

– для соняшнику: 28–36 грн/ц при низькій забрудненості; при зростанні забрудненості затрати зростають і при $Za=30\%$ становлять 93–104 грн/ц;

– для сої: 31–45 грн/ц при низькій забрудненості; при зростанні забрудненості затрати зростають і при $Za=30\%$ становлять 133–154 грн/ц.

Зростання затрат на зберігання при збільшенні забрудненості

насіння обумовлене зменшенням продуктивності зерноочисних комплексів і збільшенням часу їх роботи, а також втратам маси насіння в результаті видалення домішок.

Затрати на зберігання суттєво зростають при збільшенні забрудненості і вологості насіння:

- для ріпаку з 40–60,5 грн/ц при низькій забрудненості і вологості насіння до 387–438 грн/ц при вологості насіння 18% і забрудненості 30%;

- для соняшнику з 38–50 грн/ц при низькій забрудненості і вологості насіння до 388–425 грн/ц при вологості насіння 18% і забрудненості 30%;

- для сої з 46–66 грн/ц при низькій забрудненості і вологості насіння до 365–406 грн/ц при вологості насіння 18% і забрудненості 30%.

Великі затрати на зберігання насіння при високих початкових вологості і засміченості насіння обумовлене суттєвими втратами маси насіння із видаленими домішками і вологою, низькою продуктивністю сушарок і зерноочисних комплексів, що збільшує час їх роботи і підвищує витрати на амортизацію і ремонт.

Застосування в якості енергоносія сушарок природного газу замість дизельного палива зменшує затрати на зберігання насіння на 1–2%. При використанні зерносушильного комплексу КС-8, в якому в якості палива використовується солома в рулонах, затрати на зберігання насіння знижуються на 7–10% порівняно із застосуванням сушарки ДСП-10, що працює на дизельному паливі.

Висновки

1. При відсутності засміченості і нормативній вологості насіння собівартість зберігання насіння ріпаку протягом 3 місяців становить 21–37 грн/ц соняшнику – 20,3–28,2 грн/ц, сої – 22,3–36,8 грн/ц.

2. При поступленні на зберігання забрудненого сухого насіння (при незначній забрудненості) затрати на його зберігання зростають в 1,2–1,4 рази із-за зменшення продуктивності зерноочисних комплексів і збільшення часу їх роботи, а також втрати маси насіння в результаті видалення домішок.

3. Затрати на зберігання суттєво зростають при збільшенні забрудненості і вологості насіння і становлять для ріпаку 387–438 грн/ц, для соняшнику – 388–425 грн/ц, для сої – 365–406 грн/ц при вологості насіння 18% і забрудненості 30%. Високі затрати на зберігання насіння при значних початкових вологості і засміченості насіння обумовлене суттєвими втратами маси насіння із видаленими домішками і вологою, низькою продуктивністю сушарок і зерноочисних комплексів, що збільшує час їх роботи і підвищує витрати на амортизацію і ремонт.

4. Застосування в якості енергоносія сушарок природного газу замість дизельного палива зменшує затрати на зберігання насіння на 1–2%. При використанні зерносушильного комплексу КС-8, в якому в якості палива використовується солома в рулонах, затрати на зберігання насіння знижуються на 7–10% порівняно із застосуванням сушарки ДСП-10, що працює на дизельному паливі.

Список літератури

1. *Поліщук В.М.* Тваринні та рослинні жири як сировина для виробництва біодизеля (Узагальнення досвіду) / *В.М. Поліщук* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2010. – Вип. 144. – Ч. 3. – С. 198–218.
2. *Павленко М.Ю.* Аналіз технологій виробництва рослинної олії / *М.Ю. Павленко* // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2013. – Вип. 185. – Ч. 2. – С. 83–87.
3. *Ящук Н.* Що слід занти, щоб якісну соняшникову олію мати / *Н. Ящук* // Пропозиція. – 2010. – № 10 – С. 64–68.
4. *Зберігання і переробка продукції рослинництва* / [Г.І. Подпрятков, Л.Ф. Скалецька, А.М. Сеньков, В.С. Хилевич]. – К.: Мета, 2002. – 495 с.
5. *Норми продуктивності та витрати палива на обробці продукції рослинництва* / [Вітвіцький В.В., Кисляченко М.Ф., Максимчук М.А. та ін.]. – К.: НДІ "Укراгропромпродуктивність", 2007. – 280 с.
6. *Малин Н.И.* Энергосберегающая сушка зерна / *Н.И. Малин*. – М.: КолосС. – 2004. – 240 с.
7. *Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті.* Затверджено наказом Міністерства транспорту України від 10 лютого 1998 р. № 43 зі змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства транспорту України від 17 грудня 2002 року № 893, від 16 лютого 2004 року № 99, від 5 серпня 2008 року № 973. – 96 с.
8. *Нормы времени работы и простоя грузовых автомобилей.* Утвержденно постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации № 76 от 17.10.2000.
9. *Галузева угода між Міністерством аграрної політики України, галузевими об'єднаннями підприємств та Профспілкою працівників агропромислового комплексу України на 2011-2013 роки.* – [Зареєстровано Міністерством праці та соціальної політики України від 8 лютого 2011 року № 10]. – К. 2011. – 34 с.
10. *НТП-16-93.* Нормы технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки и хранения продовольственного фуражного зерна и семян зерновых культур и трав. – М.: Ротапринт НИПИагропром, 1999. – 120 с.

Смоделирована себестоимость хранения семян масличных культур. Установлены зависимости себестоимости хранения семян масличных культур от его влажности, засоренности, урожайности (массы хранения) и технологического оборудования.

Масличные культуры, озимый рапс, соя, подсолнечник, масло, хранение, себестоимость, урожайность, влажность, засоренность.

Modeled cost of storage of oilseeds. The dependences of the cost of storage of oilseeds from its moisture, debris, yield (mass storage) and production equipment.

Oilseeds, winter rapeseed, soybean, sunflower, malayer storage, cost, yield, moisture, clogging of attorney.

УДК 693.546

ОПТИМІЗАЦІЯ РИВКОВОГО РЕЖИМУ РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

В.С. Ловейкін, доктор технічних наук

К.І. Почка, кандидат технічних наук

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.

Роликова формувальна установка, режим руху, 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

© В.С. Ловейкін, К.І. Почка, 2015

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.

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:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial W}{\partial \dot{x}} = \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = 0; \quad \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \ddot{x}; \quad \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial W}{\partial \ddot{x}} = m \cdot \overset{VI}{x} = 0. \quad (4)$$

З останнього рівняння (4) отримуємо диференціальне рівняння та його розв'язки:

$$\begin{aligned} \overset{VI}{x} &= 0; \quad \overset{V}{x} = C_1; \quad \overset{IV}{x} = C_1 \cdot t + C_2; \quad \ddot{x} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot t^2 + C_2 \cdot t + C_3; \\ \ddot{x} &= \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t^2 + C_3 \cdot t + C_4; \quad \dot{x} = \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t^2 + C_4 \cdot t + C_5; \quad (5) \\ x &= \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot t^2 + C_5 \cdot t + C_6, \end{aligned}$$

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: $t=t_z: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=0$. Тут x_1 – координата початку процесу гальмування; $\dot{x}_y$ – швидкість руху візка на усталеному режимі до початку гальмування.

При пуску початковими умовами є: $t=0: x=0; \dot{x}=0; \ddot{x}=0$. 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:

$$t=0: C_6=-x_1; C_5=\dot{x}_y; C_4=0; \quad (6)$$

$$t=t_z: \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_z^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_z^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_z^3 + \dot{x}_y \cdot t_z - x_1 = 0; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_z^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_z^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_z^2 + \dot{x}_y = 0; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_z^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_z^2 + C_3 \cdot t_z = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримуємо постійні інтегрування C_1, C_2 та C_3 :

$$C_1 = \frac{360 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_z} - \dot{x}_y \right)}{t_z^4}; \quad C_2 = \frac{24 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_z} \right)}{t_z^3}; \quad C_3 = \frac{12 \cdot \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_z} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)}{t_z^2}. \quad (8)$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (6) та (8) у систему (5) отримаємо функцію зміни ривка формувального візка в процесі гальмування від усталеної швидкості $\dot{x}_y$ до повної зупинки:

$$\ddot{x} = 180 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_z} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_z^4} + 24 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_z} \right) \cdot \frac{t}{t_z^3} + 12 \cdot \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_z} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{1}{t_z^2}, \quad (9)$$

або

$$\ddot{x} = \frac{12}{t_z^2} \cdot \left[15 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_z} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_z^2} + 2 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_z} \right) \cdot \frac{t}{t_z} + \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_z} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \right]. \quad (10)$$

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{72 \cdot m}{t_2^4} \cdot \int_0^{t_2} \left[15 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + 2 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t}{t_2} + \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \right]^2 dt = \\
 &= \frac{72 \cdot m}{t_2^4} \cdot \int_0^{t_2} \left[225 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_2^4} + 4 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \right. \\
 &\quad \left. + 60 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \frac{t^3}{t_2^3} + 30 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right) \cdot \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^2}{t_2^2} + \right. \\
 &\quad \left. + 4 \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right) \cdot \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_2} \right] dt = \\
 &= \frac{72 \cdot m}{t_2^3} \cdot \left[45 \cdot \left(2 \cdot \frac{x_1}{t_2} - \dot{x}_y \right)^2 + \frac{4}{3} \cdot \left(8 \cdot \dot{x}_y - 15 \cdot \frac{x_1}{t_2} \right)^2 + \left(5 \cdot \frac{x_1}{t_2} - 3 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \right. \\
 &\quad \left. + 15 \cdot \left(31 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y - 30 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 8 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + 10 \cdot \left(10 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 11 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y + 3 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + \right. \\
 &\quad \left. + 2 \cdot \left(85 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y - 24 \cdot \dot{x}_y^2 - 75 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} \right) \right] = \\
 &= \frac{72 \cdot m}{t_2^3} \cdot \left[5 \cdot \frac{x_1^2}{t_2^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_2} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right].
 \end{aligned} \tag{11}$$

Розглянемо процес пуску. Підставивши крайові умови пуску у рівняння (5), отримуємо:

$$t = 0: C_4 = 0; C_5 = 0; C_6 = 0; \tag{12}$$

$$t = t_n: \begin{cases} \frac{1}{120} \cdot C_1 \cdot t_n^5 + \frac{1}{24} \cdot C_2 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_3 \cdot t_n^3 = -x_1; \\ \frac{1}{24} \cdot C_1 \cdot t_n^4 + \frac{1}{6} \cdot C_2 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot t_n^2 = -\dot{x}_y; \\ \frac{1}{6} \cdot C_1 \cdot t_n^3 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot t_n^2 + C_3 \cdot t_n = 0. \end{cases} \tag{13}$$

Розв'язавши систему рівнянь (13), отримуємо постійні інтегрування C_1 , C_2 та C_3 :

$$C_1 = \frac{360 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)}{t_n^4}; \quad C_2 = \frac{24 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)}{t_n^3}; \quad C_3 = \frac{12 \cdot \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)}{t_n^2}. \tag{14}$$

Після підстановки визначених постійних інтегрування (12) та (14) у систему (5) отримаємо функцію зміни рівня формувального візка в процесі пуску від нерухомого стану до руху з усталеною швидкістю $\dot{x}_y$:

$$\ddot{x} = 180 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^4} + 24 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n^3} + 12 \cdot \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{1}{t_n^2} \tag{15}$$

або

$$\ddot{x} = \frac{12}{t_n^2} \cdot \left[15 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 2 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \right]. \quad (16)$$

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{72 \cdot m}{t_n^4} \cdot \int_0^{t_n} \left[15 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + 2 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t}{t_n} + \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \right]^2 dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^4} \cdot \int_0^{t_n} \left[225 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 \cdot \frac{t^4}{t_n^4} + 4 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)^2 \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 60 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \frac{t^3}{t_n^3} + 30 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t^2}{t_n^2} + \right. \\ &\quad \left. + 4 \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right) \cdot \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right) \cdot \frac{t}{t_n} \right] dt = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[45 \cdot \left(\dot{x}_y - 2 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \frac{4}{3} \cdot \left(15 \cdot \frac{x_1}{t_n} - 7 \cdot \dot{x}_y \right)^2 + \left(2 \cdot \dot{x}_y - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + 15 \cdot \left(29 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y - 30 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 7 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + 10 \cdot \left(10 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 9 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + 2 \cdot \dot{x}_y^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + 2 \cdot \left(65 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y - 14 \cdot \dot{x}_y^2 - 75 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} \right) \right] = \\ &= \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[5 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Загальний критерій оптимальності руху в процесі реверсування з урахуванням виразів (11) та (17) буде визначатися наступним виразом:

$$I_W = I_{W2} + I_{Wn} = \frac{72 \cdot m}{t_e^3} \cdot \left[5 \cdot \frac{x_1^2}{t_e^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_e} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right] + \frac{72 \cdot m}{t_n^3} \cdot \left[5 \cdot \frac{x_1^2}{t_n^2} - 5 \cdot \frac{x_1}{t_n} \cdot \dot{x}_y + \frac{4}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \quad (18)$$

Прийнявши рівність часу гальмування візка та його пуску $t_e = t_n = t_1$, вираз (18) можна подати у наступному вигляді:

$$I_W = \frac{72 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[10 \cdot \frac{x_1^2}{t_1^2} - 10 \cdot \frac{x_1}{t_1} \cdot \dot{x}_y + \frac{8}{3} \cdot \dot{x}_y^2 \right]. \quad (19)$$

Для забезпечення виконання нерівності (1) необхідно виконати умову:

$$\frac{\partial I_W}{\partial x_1} = \frac{72 \cdot m}{t_1^3} \cdot \left[20 \cdot \frac{x_1}{t_1^2} - 10 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1} \right] = \frac{72 \cdot m}{t_1^4} \cdot \left[20 \cdot \frac{x_1}{t_1} - 10 \cdot \dot{x}_y \right] = 0. \quad (20)$$

Із виразу (20) можна отримати:

$$20 \cdot \frac{x_1}{t_1} - 10 \cdot \dot{x}_y = 0 \quad \Rightarrow \quad x_1 = \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (21)$$

Підставивши другий вираз (21) у рівності (6) та (8) отримано постійні інтегрування в процесі гальмування формувального візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = -6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^2}; \quad C_4 = 0; \quad C_5 = \dot{x}_y; \quad C_6 = -\frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot t_1. \quad (22)$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (22) отримано функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка формуального візка в процесі гальмування:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left(\frac{t^4}{t_1^3} - 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^2} + 2 \cdot t - t_1 \right); & \dot{x} &= \dot{x}_y \cdot \left(2 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} + 1 \right); \\ \ddot{x} &= 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left(\frac{t^2}{t_1^3} - \frac{t}{t_1^2} \right); & \ddot{x} &= 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left(2 \cdot \frac{t}{t_1^3} - \frac{1}{t_1^2} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Підставивши другий вираз (21) у рівності (12) та (14) отримано постійні інтегрування в процесі пуску формуального візка:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = 12 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^3}; \quad C_3 = -6 \cdot \frac{\dot{x}_y}{t_1^2}; \quad C_4 = 0; \quad C_5 = 0; \quad C_6 = 0. \quad (24)$$

Після цього з урахуванням постійних інтегрування (24) отримано функції зміни переміщення, швидкості, прискорення та ривка формуального візка в процесі пуску:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cdot \dot{x}_y \cdot \left(\frac{t^4}{t_1^3} - 2 \cdot \frac{t^3}{t_1^2} \right); & \dot{x} &= \dot{x}_y \cdot \left(2 \cdot \frac{t^3}{t_1^3} - 3 \cdot \frac{t^2}{t_1^2} \right); \\ \ddot{x} &= 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left(\frac{t^2}{t_1^3} - \frac{t}{t_1^2} \right); & \ddot{x} &= 6 \cdot \dot{x}_y \cdot \left(2 \cdot \frac{t}{t_1^3} - \frac{1}{t_1^2} \right). \end{aligned} \quad (25)$$

На усталеному режимі руху формуального візка координата переміщення та швидкості його центра мас описуються рівняннями [7]:

$$x = x_{0y} + \frac{(x_{1y} - x_{0y}) \cdot t}{t_y}; \quad \dot{x} = \frac{(x_{1y} - x_{0y})}{t_y} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{x} = 0, \quad (26)$$

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 Δx , 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 $\dot{x}_y$:

$$\dot{x}_y = \frac{\Delta x - 2 \cdot x_1}{t_y} = \frac{\Delta x - \dot{x}_y \cdot t_1}{t_y} \Rightarrow \dot{x}_y = \frac{\Delta x}{t_y + t_1}. \quad (27)$$

Прийнявши загальний час руху формуального 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_c . 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: $t_n = t_c = t_1 = \frac{1}{6} \cdot t_3$.

Після цього вирази швидкості руху візка на усталеному режимі та координати x_1 матимуть вигляд:

$$\dot{x}_y = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3}; \quad x_1 = \frac{\Delta x}{10}. \quad (28)$$

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:

$$x = \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right); \quad \dot{x} = \frac{648 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{t^2}{t_3^3} - 4 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} \right);$$

$$\ddot{x} = \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(6 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^3} \right); \quad \ddot{x} = \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{1}{t_3^3} - 12 \cdot \frac{t}{t_3^4} \right); \quad (29)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{\Delta x}{10} + \frac{6 \cdot \Delta x \cdot t}{5 \cdot t_3}; \quad \dot{x} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5 \cdot t_3} = const; \quad \ddot{x} = 0; \quad \ddot{x} = 0; \quad (30)$$

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right); \quad \dot{x} = \frac{6 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(432 \cdot \frac{t^3}{t_3^4} - 108 \cdot \frac{t^2}{t_3^3} + \frac{1}{t_3} \right);$$

$$\ddot{x} = \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(6 \cdot \frac{t^2}{t_3^4} - \frac{t}{t_3^3} \right); \quad \ddot{x} = \frac{1296 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(12 \cdot \frac{t}{t_3^4} - \frac{1}{t_3^3} \right). \quad (31)$$

Задавшись амплітудою переміщення формувального візка $\Delta x = 0,4 \text{ м}$ та загальним часом його руху від одного крайнього положення в інше $t_3 = 3 \text{ с}$, 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 з оптимальним ривковим режимом реверсування.

Перетворивши перші рівняння виразів (29)–(31) для випадку, коли початок координат відраховується від середнього положення переміщення формувального візка, отримаємо:

– на ділянці пуску:

$$x = \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (32)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$x = \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{3 \cdot t}{t_3} - 1 \right); \quad (33)$$

– на ділянці гальмування:

$$x = \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right) - \frac{\Delta x}{2}. \quad (34)$$

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.

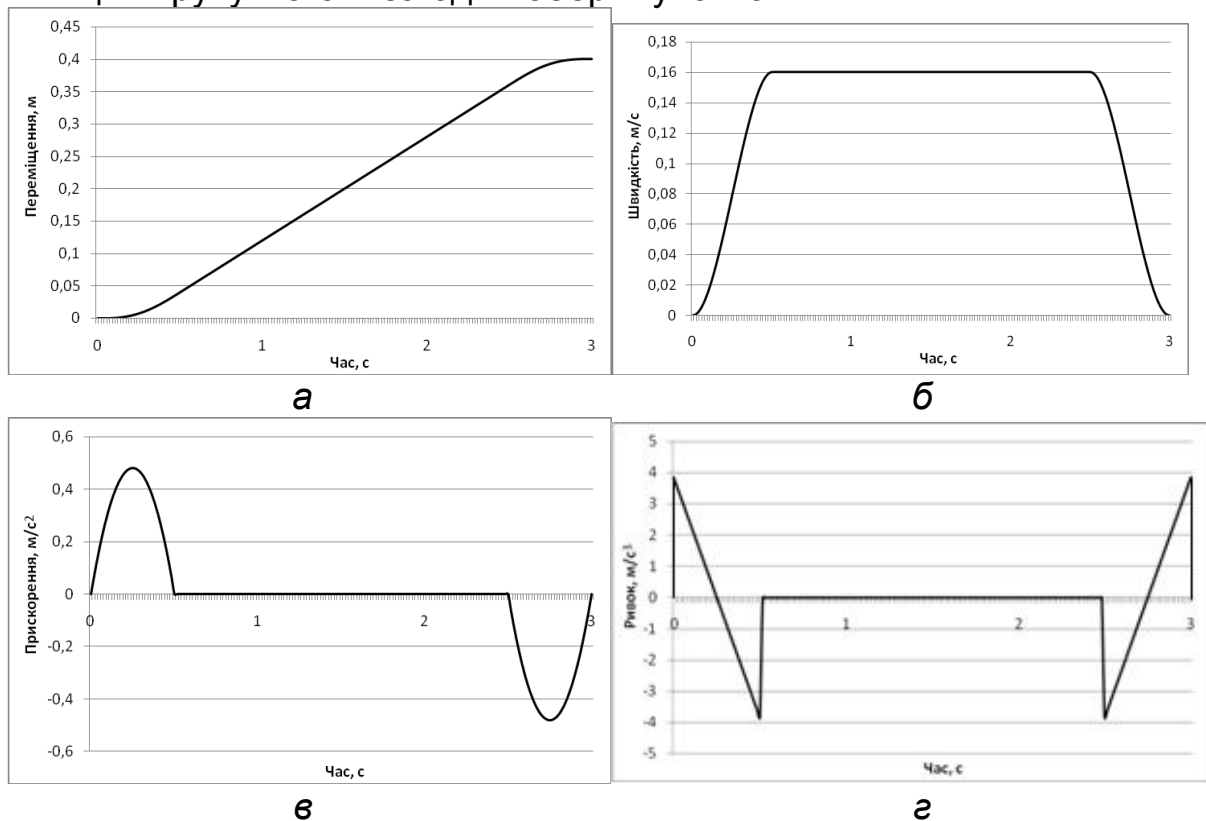


Рис. 1. Графіки зміни переміщення – а, швидкості – б, прискорення – в та ривка – г при русі формувального візка з оптимальним ривковим режимом реверсування.

Для здійснення описаного закону руху візка необхідно, щоб приріст радіуса кулачка відповідав приросту переміщення візка. Згідно з цим перемінний радіус кулачка визначається залежностями:

– на ділянці пуску:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{t^3}{t_3^3} - 3 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}; \quad (35)$$

– на ділянці усталеного руху:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{3 \cdot t}{t_3} - 1 \right); \quad (36)$$

– на ділянці гальмування:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(216 \cdot \frac{t^4}{t_3^4} - 72 \cdot \frac{t^3}{t_3^3} + 2 \cdot \frac{t}{t_3} + \frac{3}{2} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad (37)$$

де: b – відстань між штовхачами 2 (рис. 2).

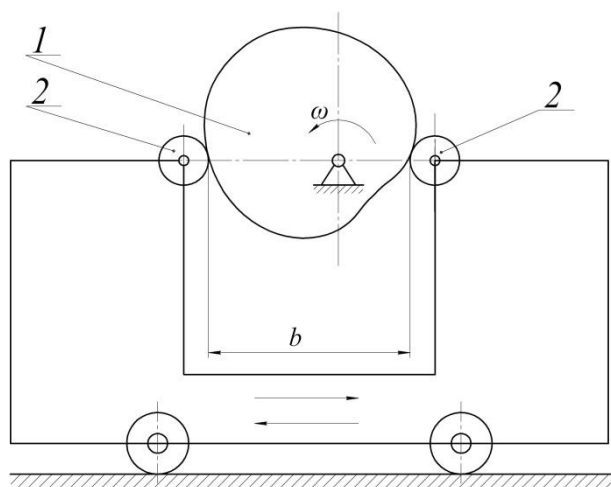


Рис. 2. Схема механізму з кулачковим приводом зворотно-поступального руху візка.

Час t можна виключити із залежностей (35)–(37), оскільки $t = \varphi / \omega$, а $t_3 = \pi / \omega$. Тут φ – кутова координата повороту кулачка, а ω – 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 – $t_z = \frac{1}{6} \cdot t_3$, 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 кутовою координатою наступними виразами:

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left(\frac{\varphi^3}{\pi^3} - 3 \cdot \frac{\varphi^4}{\pi^4} \right) - \frac{\Delta x}{2}, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{6}; \quad (38)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[3 \cdot \left(\varphi - \frac{\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} - 1 \right], \quad \frac{\pi}{6} < \varphi < \frac{5\pi}{6}; \quad (39)$$

$$\rho = \frac{b}{2} + \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[216 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 72 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \right. \\ \left. + 2 \cdot \left(\varphi - \frac{5\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{3}{2} \right] - \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{5\pi}{6} < \varphi \leq \pi. \quad (40)$$

Аналогічно визначається профіль кулачка на ділянці його повороту від π до 2π , який описується радіусом, що змінюється залежностями:

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{216 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[\frac{(\varphi - \pi)^3}{\pi^3} - 3 \cdot \frac{(\varphi - \pi)^4}{\pi^4} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \pi \leq \varphi \leq \frac{7\pi}{6}; \quad (41)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[1 - 3 \cdot \left(\varphi - \frac{7\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{7\pi}{6} < \varphi < \frac{11\pi}{6}; \quad (42)$$

$$\rho = \frac{b}{2} - \frac{3 \cdot \Delta x}{5} \cdot \left[216 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^4 \cdot \frac{1}{\pi^4} - 72 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6} \right)^3 \cdot \frac{1}{\pi^3} + \right. \\ \left. + 2 \cdot \left(\varphi - \frac{11\pi}{6} \right) \cdot \frac{1}{\pi} + \frac{3}{2} \right] + \frac{\Delta x}{2}, \quad \frac{11\pi}{6} < \varphi \leq 2\pi. \quad (43)$$

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 ($d = b$).

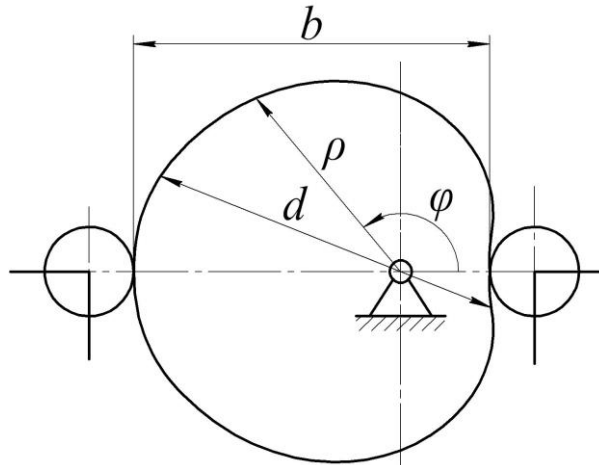


Рис. 3. Профіль кулачка, що реалізує комбінований динамічний режим руху формувального візка.

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 оптимальним ривковим режимом реверсування (рис. 4). Приводний механізм виконаний у

вигляді шарнірно встановлених на порталі кулачкових механізмів, що контактують з штовхачами, жорстко прикріпленими до формувального візка.

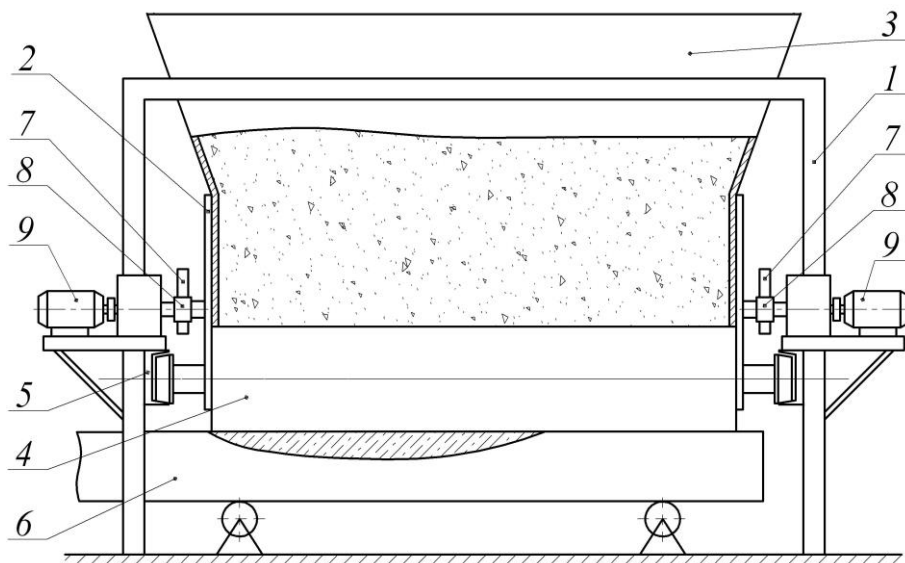


Рис. 4. Роликова формувальна установка з кулачковим приводним механізмом.

Установка вміщує змонтований на нерухомому порталі 1 формувальний візок 2, що вміщує подавальний бункер 3 та уочувальні 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 ($\omega = \text{const}$), 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.

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 оптимальним ривковим режимом реверсування.

2. Запропоновано конструкцію роlikової 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 роlikового формування як на стадіях проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

Список літератури

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси / В.М. Гарнець. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
2. Кузин В.Н. Технология роlikового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов / В.Н. Кузин. – Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1981. – 20 с.
3. Рюшин В.Т. Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роlikового формования бетонных смесей / В.Т. Рюшин. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К., 1986. – 186 с.
4. Ловейкін В.С. Динамічний аналіз роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин : Праці І-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM-I). – Тернопіль, 2004. – С. 507–514.
5. Ловейкін В.С. Результати експериментальних досліджень режимів руху роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59. – Т. 1. – С. 465–474.
6. Ловейкін В.С. Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом / В.С. Ловейкін, К.І. Почка // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: 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 роlikовой формовочной установки с кулачковым приводным механизмом и построен профиль кулачка для обеспечения комбинированного режима возвратно-поступательного движения формовочной тележки с рывковым реверсированием.

Роlikовая формовочная установка, режим движения, привод, кулачковый механизм.

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 forming cart with breakthrough reversal is constructed.

Roller forming installation, movement mode, drive, cam mechanism.

ЗМІНА БІОПОТЕНЦІАЛУ ОГІРКІВ ПРИ ПЕРЕДПОСІВНІЙ ОБРОБЦІ НАСІННЯ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук

Наведені результати досліджень зміни біопотенціалу паростків насіння огірків при його обробці у магнітному полі. Встановлені залежності зміни біопотенціалу від магнітної індукції та швидкості руху насіння у магнітному полі. Визначені найефективніші режими обробки

Біопотенціал, огірки, магнітна індукція, швидкість руху насіння.

Постановка проблеми. Нині актуальним завданням є підвищення урожайності овочевих культур та якості продукції при зменшенні застосування хімічних засобів.

Цю можливість забезпечує застосування електротехнологічних методів обробки насіння в електричному полі коронного розряду, електромагнітному полі, електромагнітним випромінюванням, тощо.

Аналіз останніх досліджень. На основі аналізу електрофізичних методів обробки насіння сільськогосподарських культур можна зробити висновок, що найперспективнішим з них є магнітна обробка. Цей метод порівняно з іншими є енергозберігаючим та безпечним для обслуговуючого персоналу, забезпечуючи при цьому підвищення урожайності, зменшення захворюваності рослин та підвищення якості овочевої продукції. Для успішного впровадження електротехнологій необхідно встановити механізм дії магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур та визначити оптимальні режими обробки. Нині встановлено, що під дією магнітного поля змінюється швидкість хімічних реакцій та зміщується їх рівновага [2]. Це викликає зміну окислювально-відновного потенціалу.

Мета досліджень – встановлення впливу магнітного поля на зміну біопотенціалу огірків.

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження зміни біопотенціалу огірків проводилися на лабораторній установці (рис. 1). Насіння переміщували на транспортері через магнітне поле, що створювалося постійними магнітами.

При дослідженні впливу магнітної індукції на зміну біопотенціалу огірків її регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0 – 0,5 Тл. Магнітну індукцію вимірювали тесламетром 43205/1.

© В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, 2015

Швидкість руху насіння через магнітне поле становила 0,6 м/с, а температура – 20 °С.



Рис. 1. Установка для магнітної обробки насіння.

Оброблене у магнітному полі насіння огірків сорту «Сквирський» пророщували і вимірювали значення окислювально-відновного потенціалу (ОВП) паростків.

Для вимірювання ОВП був розроблений вимірювальний електрод, який є платиновою пластиною із загостреним кінцем у вигляді ножа. Платиновий електрод вводиться в паросток пророслого насіння. Як допоміжний електрод використаний стандартний хлорсрібний електрод. За допомогою іоніміра И-160М визначали різницю ОВП паростків необробленого та обробленого в магнітному полі насіння [4]. Досліди виконували у трикратній повторності, а їх відтворюваність визначали за критерієм Кохрена при 5 %-ному рівні значущості.

Дослідження впливу швидкості руху насіння при магнітній обробці на зміну біопотенціалу паростків огірків виконувалися із застосуванням метода планування експерименту [1]. За відгук приймали зміну біопотенціалу паростків огірків при магнітній обробці. За значення факторів приймали магнітну індукцію (X_1) та швидкість руху розчину (X_2). Межі зміни магнітної індукції визначали на основі проведених однофакторних експериментів. Значення верхнього, нижнього і основного рівнів становили для магнітної індукції 0,02; 0,65 і 0,11 Тл, для швидкості руху насіння – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с. При дослідженнях використовувався ортогональний центральнок композиційний план (табл. 1).

1. Матриця планування експерименту при магнітній обробці насіння огірків.

Номер точки	Тип точки	X_0	X_1	X_2
1	Ядро плану ПФЕ 2^2	+	-	-
2		+	+	-
3		+	-	+
4		+	+	+
5		+	-	0
6	Зіркові точки	+	+	0
7		+	0	-
8		+	0	+
9	Центр плану	+	0	0

Досліди виконували в рандомізованому порядку в трикратній повторності. У кожному рядку матриці планування визначали дисперсії, а їх однорідність перевіряли за критерієм Кохрена.

Рівняння регресії знаходили у вигляді:

$$\Delta BP = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (1)$$

Коефіцієнти у рівнянні регресії та їх значущість визначали за відомою методикою, а адекватність отриманого рівняння регресії оцінювалася за критерієм Фішера [1].

Результати досліджень. У насіння огірків протікають різноманітні хімічні та біохімічні реакції, які є переважно окислювально-відновними. Стимуляція огірків пов'язана із зростанням їхньої швидкості. Зміна швидкості хімічних та біохімічних реакції, які протікають у рослинній клітині, впливає на біопотенціал рослини.

При дії магнітного поля на насіння зростає швидкість хімічних реакцій [3]:

$$\omega_i = \omega \exp \mu (\hat{E}^2 \hat{A}^2 + 2 \hat{E} \hat{A} v_n) N_a / 2RT, \quad (2)$$

де: ω – швидкість хімічної реакції без дії магнітного поля, моль/л·с; μ – зведена маса часток, кг; B – магнітна індукція, Тл; v – швидкість руху частки, 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 розчину, К.

Зміна окислювально-відновного потенціалу (ОВП) насіння визначається за рівнянням Нернста [5]:

$$\Delta \varphi = S_t (\lg fC_2 - \lg fC_1) = S_t (\lg C_2 - \lg C_1), \quad (3)$$

де: S_t – крутість електродної характеристики електрода, В/од. рХ; f – коефіцієнт активності, C_1 – концентрація іонів до магнітної обробки, моль/л; C_2 – концентрація іонів після магнітної обробки, моль/л; або

$$\Delta \varphi = S_t (\omega_2 - \omega_1). \quad (4)$$

Крутість електродної характеристики визначається за формулою:

$$S_t = 2,3 \frac{RT}{zF}, \quad (5)$$

де: z – валентність іона; F – число Фарадея, Кл/моль.

Тоді зміна ОВП становитиме:

$$\Delta OBP = - \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right). \quad (6)$$

Біопотенціал визначають за формулою:

$$BP = 820 - OBP. \quad (7)$$

Тоді зміна біопотенціалу становитиме:

$$\Delta BP = - \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right). \quad (8)$$

або

$$\Delta BP = A_1 B^2 + A_2 Bv, \quad (9)$$

де: A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Коефіцієнти, які входять у рівняння (9) аналітично визначити неможливо. Їх визначали на основі експериментальних даних.

Експериментальні залежності зміни біопотенціалу паростків огірків від магнітної індукції при швидкості руху насіння у магнітному полі 0,6 м/с показані на рис. 2. При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл значення біопотенціалу зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції більшій за 0,15 Тл ефект магнітної обробки не істотний – біопотенціал огірків практично не змінюється і не перевищує 32 мВ порівняно з контролем.

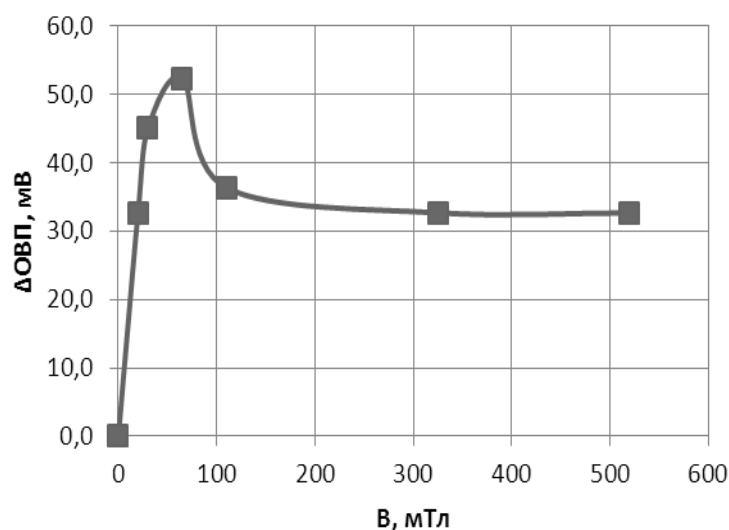


Рис. 2. Залежність зміни біопотенціалу огірків від магнітної індукції.

За результатами проведеного багатофакторного експерименту було отримане рівняння регресії, яке у фізичних величинах має вигляд:

$$\Delta БП = 34,825 + 1124B - 33,426v - 18,519Bv - 8532B^2; \quad (10)$$

Залежність зміни біопотенціалу огірків від магнітної індукції і швидкості руху при магнітній обробці показана на рис. 3. Найбільше біопотенціал огірків змінюється при магнітній індукції 0,065 Тл. Зменшення швидкості руху насіння у магнітному полі призводить до збільшення біопотенціалу огірків.

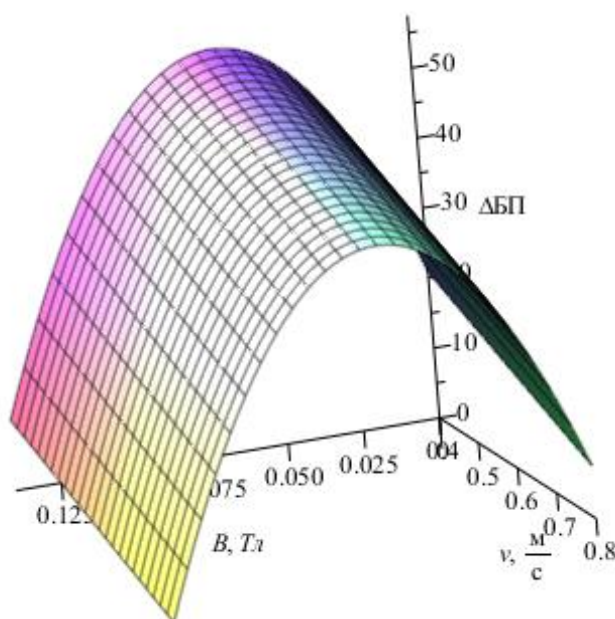


Рис. 3. Зміна біопотенціалу огірків при магнітній обробці насіння.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження зміни біопотенціалу огірків при магнітній обробці підтвердили правильність теоретичних залежностей і дали можливість визначити коефіцієнти, які входять у ці залежності.

Висновок. Встановлено, що зміна біопотенціалу огірків при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння у магнітному полі. Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл.

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. Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
3. Савченко В.В. Визначення ефекту магнітної обробки насіння сільськогосподарських культур / В.В. Савченко, О.Ю. Синявский // Науковий вісник Націона-

льного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 136–140.

4. Савченко В.В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В.В. Савченко, А.Ю. Синяевский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.

5. Sinyavsky A. Magnetic treatment of potato tubers / A. Sinyavsky, V. Savchenko // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – Warsaw: 2011. – № 57. – P. 57–64.

Приведены результаты исследований изменения биопотенциала ростков семян огурцов при их обработке в магнитном поле. Установлены зависимости изменения биопотенциала от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определены наиболее эффективные режимы обработки.

Биопотенциал, огурцы, магнитная индукция, скорость движения семян.

The results of studies of changes in biological potentials sprouts cucumber seeds as they are processed in magnetic field are described. The dependence of biological potentials on magnetic induction and speed of seeds in magnetic field are determined. The most effective treatment regimes are identified.

Biological potential, cucumbers, magnetic induction, speed of seeds.

УДК 621.794

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ДЕФЕКТІВ НА ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ

С.С. Карабиньош, кандидат технічних наук

Розроблено концептуальні засади подальшого технічного забезпечення якості проведення ремонтів і обслуговування машин. Проведено аналіз та визначено технологічні засади реалізації голографічних методів при підвищенні експлуатаційної надійності та безвідмовності машин в процесі виконання агротехнічних робіт в рослинництві і тваринництві.

Деталі, свільськогосподарські машини, пошкодження, дефекти, голографія, дефектування, діагностика, неруйнівний контроль, лазер, оптична система.

© С.С. Карабиньош, 2015

Постановка проблеми. Дослідження пошкоджень і дефектів, визначення параметрів допустимого чи граничного станів, впливу на зміну поверхневого стану деталей основних видів навантажень проводили на двох спеціально створених установках, які забезпечують необхідні параметри їх взаємодії (тип навантаження, вид інтерференційних полів, їх розміщення, конфігурацію та інше). Комп'ютерна голографія (основний вид проведених досліджень) дає змогу реєструвати зміну поверхні при малих навантаженнях, які із невеликими швидкостями зміни стану спричиняють мікродеформування.

Аналіз останніх досліджень. На базі проведених попередніх досліджень та аналізу літератури [1, 3] визначено існуючі методи і технічні засоби голографування, які впливають на якість виконання технологічних процесів дефектування і діагностування при реалізації сучасних технологій виконання сервісних робіт. Образ деформованого тіла, представленого у вигляді кольорових інтерференційних полів, фіксують в пам'яті комп'ютера [1, 2, 4].

Проблемам неруйнівного контролю, технічної діагностики значну увагу в своїх роботах приділяють вчені: А.Н. Гузь, Л.М. Лобанов, В.А. Троїцький, В.А. Пивторак, Ю.К. Бондаренко, А.О. Рассказов, С.П. Тимошенко, М.Н. Беляев, Д.А. Драйгор, І.П. Білокур, В.В. Ключев та ін. Незважаючи на досягнуті успіхи та надбані практичні навички, на сьогодні відсутні дані досліджень з вивчення технічного стану деталі, вузла, агрегату чи машини в цілому при різних видах навантаження (поодиноких чи сукупно діючих) з вивченням об'ємних полів мікродеформування поверхневих шарів

Мета досліджень. Дослідити можливості реалізації голографічних методів та розробити методичні основи дефектування і діагностування з виявленням пошкоджень та прихованих дефектів на поверхнях деталей сільськогосподарських машин.

Результати досліджень. Аналіз можливих шляхів подальшого підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки в рослинництві і тваринництві вказує на перспективність впровадження новітніх технологій виконання сервісних робіт із застосуванням голографічних методів. Загалом при проведенні досліджень застосовували такі види навантаження: механічне (розтягнення, стискання, кручення, згинання та їх комплексне поєднання); термічне локальне, терморадіаційне загальне; акустичне збудження; навантаження тиском або вакуумом, а також для руйнування зразків навантаження ударом, що рекомендовано спеціальною літературою [2, 3].

Дослідження проведені на установках для двоімпульсної голографії спекл інтерферометрією та її комп'ютерного вияву. У першому випадку (рис. 1) промінь когерентного світла випромінений лазером 1 проходить через коліматор, утворений двома лінзами: вигнутою

діаметром 25 мм і фокусною відстанню – 20 мм (2) і випуклою діаметром 90 мм та фокусною відстанню 200 мм, дзеркал 4, 5, 6, 7, приходить на розсіючу лінзу 8 діаметром 100 мм і фокусною віддалю – 600 мм і спрямовується безпосередньо на поверхню досліджуваного об'єкта, деталі 13. Спеціально передбаченим регулятором положення лінзи можна забезпечити спостереження верхньої і бокової поверхні виробу за допомогою дзеркала 10. За цих умов, 65% інтенсивності світла потрапляє на верхню його частину.

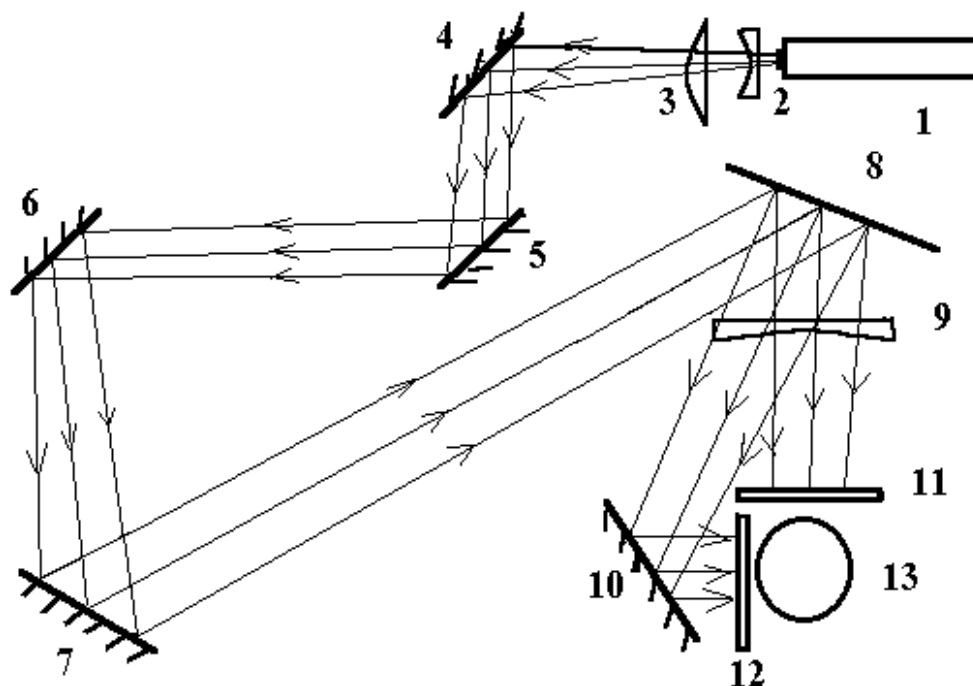


Рис. 1. Оптична схема досліджень двоімпульсною голографією: 1 – лазер; 2, 3, 9 – лінзи; 4, 5, 6, 7, 8 і 10 – дзеркала; 11, 12 – захисні екрани; 13 – виріб або деталь.

Для запису голограм застосовано методи запропоновані Ю.Н. Денисюком і П.М. Буне [1, 5], із закріпленням плівки на спеціальних захисних екранах 10 і 11 розміщених безпосередньо перед об'єктом 13. Запис голограм здійснювали за допомогою двоімпульсного рубінового лазера "Lumonics" HL 32 JK Lasers, на плівці фірми AGFA чутливої до когерентного червоного світла. Зразки або деталі, що мали недостатню чи надлишкову рефlectorну здатність, покривали спеціальною фарбою і наносили на них координатну сітку. Дослідження проводили в двоімпульсному режимі при зміні часу експозиції від 1 пс до 120 пс. Умови проведення дослідження забезпечувалися спеціально створеним приладом для включення лазера (захищено патентом) у відповідні задані моменти (рис. 2). Двоімпульсною голографією досліджували наявність зовнішніх і підповерхневих дефектів

в деталях, які було виготовлено із сталі, чавуну, пластмас, метало-полімерів, кольорових металів та інше.

Основним видом навантаження служило механічне, а також додаткове акустичне збудження і локальне термічне нагрівання виділеної ділянки деталі для встановлення допустимих значень параметрів технічного стану. Такого типу установку застосовували для фіксації голограм із деталей значних габаритних розмірів, які необхідно, за умовами досліду та безпечного проведення експериментальних робіт, розміщувати на віддалі від джерела когерентного світла – лазера. Застосування бокового дзеркала 10, дозволяє фіксувати голограму також з бокової поверхні деталі, розширюючи діапазон вимірювання технічного стану виробу. Використання значної кількості дзеркал викликано необхідністю проведення досліджень реальних деталей сільськогосподарських машин, які мають значні розміри, а проведення експериментальних робіт всередині приміщень мають обмеження.

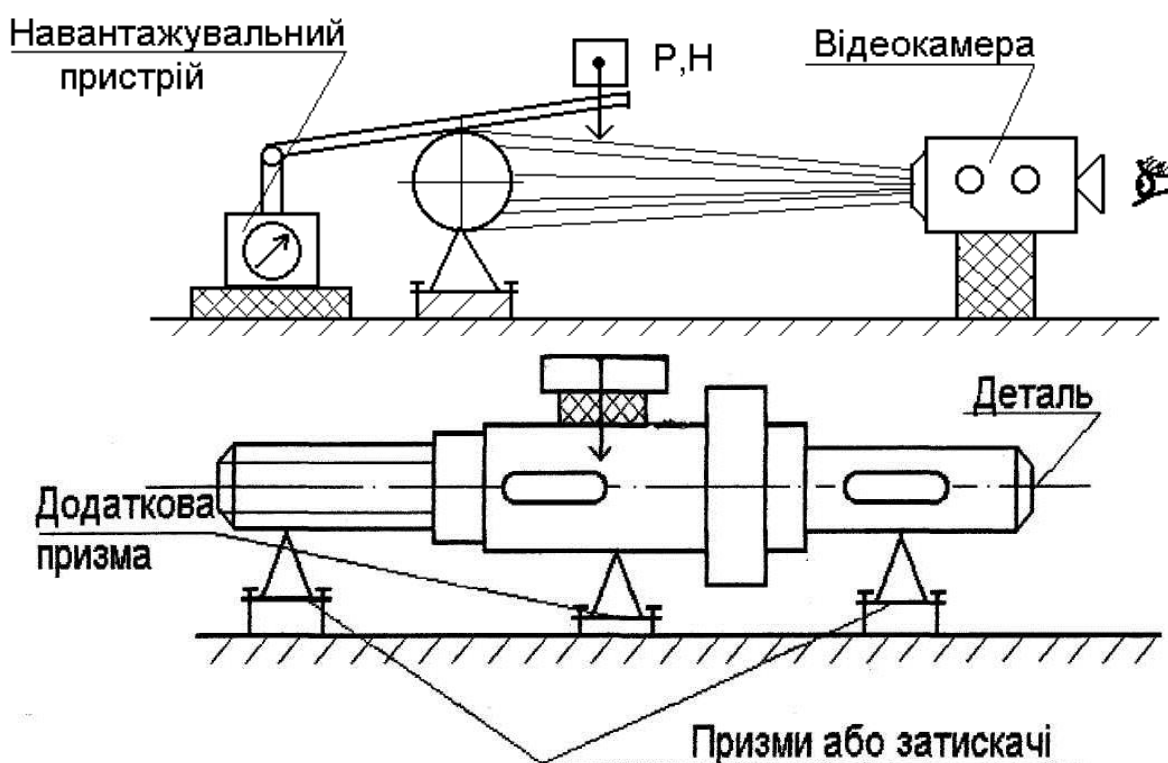


Рис. 2. Схема пристосувань для навантаження деталей механічним способом (стискування і згин).

Програмне забезпечення OPTIMA або FD – 63 дозволило проводити дослідження за допомогою комп'ютерно лазерних систем і створювати кольорові голографічні образи – голограми – інтерференційні поля поверхонь деформованого тіла. Система запису комп'ютерних голограм удосконалена шляхом встановлення додат-

кових оптичних елементів, що дозволяє вивчати поверхні елементів сільськогосподарських машин, що дифузійно відбивають когерентне світло.

Дослідження проводили на спеціально підготовлених деталях, виготовлених із різних матеріалів, із наявними дефектами або пошкодженнями (при необхідності штучно наведеними в них). В якості матеріалів, які досліджували, використовуються чавунні та сталеві пластини і циліндри, деталі із кольорових металів, дерев'яні блоки, пластини армованих пластиків, металополімерів, сталеві пластини із нанесеними на них композитивами із стійких до зношування і дії зовнішнього середовища порошкових матеріалів та інше. В проведених дослідженнях використовували реальні деталі сільськогосподарських машин як нові, так і такі, що були в експлуатації. За умови, коли виникала необхідність в проведенні кількісної оцінки напружено деформаційного стану поверхні деталей, на їх поверхні наносили фізичну сітку з відстанню між лініями, що становила від 10 до 20 мм, в залежності від габаритних розмірів деталі.

Схему пристосування для механічного навантаження при стисканні або згинанні наведено на рис. 2. Кожен зразок навантажували. Для цього було розроблено спеціальні пристосування, які давали можливість отримати задовільні умови при голографуванні деталей сільськогосподарських машин, які мають специфічні особливості поверхневих шарів, які відмінні за своєю структурою, шорсткістю, твердістю від аналогічних деталей машин загального машинобудування. Для чавунних і сталевих зразків або реальних деталей використовували навантажувальну установку, яка дає можливість через спеціальний пристрій механізму фіксувати величину навантаження. Зразки або деталі жорстко утримували на призмах або затискачах, які в свою чергу були зафіксовані на спеціальному вібростійкому столі із монолітного бетону. Розтягування зразка проводили за допомогою спеціального гвинтового пристрою оснащеного динамометром. Деталь або зразок жорстко фіксували одним кінцем в лещатах, а до вільного – приєднували рухомий затискач гвинтового механізму. Схему пристосування представлено на рис. 3.

Якщо за умовами досліду вимагалось здійснення на виріб сумісної дії різних видів навантаження, то було передбачено переналагодження системи конструкцією самих пристосувань, а також будовою стола. Характеристики завдання необхідних навантажень приведено в табл. 1.

Для скорочення обсягів експериментальних робіт, попередньо для кожного виду матеріалу було проведено по десять серій експериментів з визначенням граничних ефектів обладнання і пристосувань. Критеріями оцінки служила можливість візуального спостере-

ження початку появи і чіткого вияву інтерференційних ліній на екрані монітора.

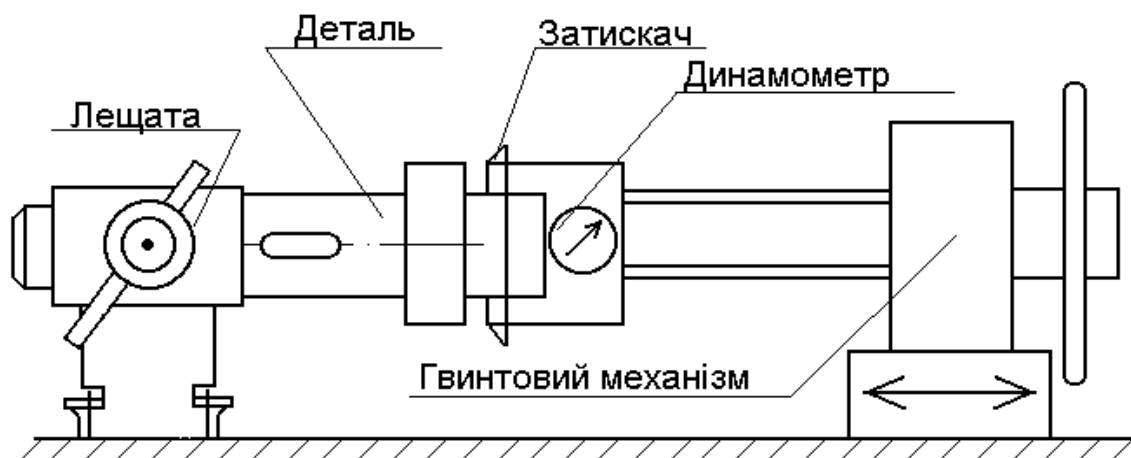


Рис. 3. Схема установки для створення розтягуючих зусиль в деталях (механічне навантаження).

Для приведених в табл. 1 матеріалів максимум інтенсивності зображення спостерігали для середини інтервалу із розсіюванням пошукових даних $\pm 8 - 10 \%$, що задовольнило умови експерименту. Поява інтерференційних ліній – нижня межа, а також їх зникнення – верхня межа проведення експериментальних досліджень.

1. Величини механічного навантаження деталей із різних матеріалів.

Матеріал деталі (зразка)	Вид механічного навантаження			
	Розтяг, F, Н	Стискування, F, Н	Згин, F, Н	Кручення, М Н м
Чавун, СЧ-18	200–250	150–200	250–300	10–15
Сталь 40Х	250–300	200–250	350–400	20–22
Полімер (поліети- лен, поліамід)	10,0–22,0	5,0–7,0	15–22	0,1–0,3
Алюміній, АЛ9	16–18	24–27	19–28	0,5–0,7
Дерево (дубовий блок)	18–22	27–40	30–40	2,1–2,4
Армований мета- ло-полімер	20–25	15–22	30–35	2,7–3,0
Алюміній	100–120	60–80	150–180	7,0–9,0

Поступовим навантаженням, дискретно або поступально, досягали появи в реальному часі (на моніторі) чіткої картини, із високою контрастністю та інтенсивністю, зображення і фіксували його в комп'ютері. Знаючи реальні розміри деталі або її частини, порівнювали із отриманою голограмою і проводили дослідження та вимірювання.

За допомогою переналагодження оптичної системи, а також зміни величини роздільної здатності об'єктивів відеокамери змінювали розміри ділянок спостереження. Дослідження проводили із змінними об'єктивами, що дозволяли вивчати об'єкти розмірами від 40×40 мм до 800×950 мм і більше, що вказує на можливість контролювати широку номенклатуру деталей і вузлів сільськогосподарських машин. Застосування оптичного обладнання обмежені потужністю випромінювання лазера, розмірами робочого стола та рефлексною здатністю самої деталі.

Висновок. Таким чином, дефекти можуть з'являтися на будь-якій необмеженій поверхні тіла виробу, мати різну глибину залягання, направленість, величину розкриття, геометричні розміри, конфігурацію та інше. Виявлення дефектів і пошкоджень за допомогою звичайних методів досить ускладнено. Встановлено, що поєднання двох видів голографування дає сто відсотковий результат при знаходженні прихованих дефектів. Кращі результати отримували при застосуванні комплексного навантаження, з реалізацією одночасно двох або, навіть, трьох різноманітних за їх фізичною природою видів навантажень.

Список літератури

1. Boone P., Vanspeybroeck Ph., Karabinesh S.S. Brittle crack propagation in plastics pipes analyzed by holographic interferometry. 1993. / P.Boone, Ph.Vanspeybroeck, S.S.Karabinesh. – Brussels, Nondestructive testing and image processing, S.S. – Session 5. – P. 325–334
2. Karabinesh S.S. Structurally-technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography. 2012 / S.S. Karabinesh. – Motrol, 14 – №3. – P. 112–119.
3. Карабиньош С.С. Определение величины микродеформации нагруженного тела голографическим методом / С.С. Карабиньош. – М.: Контроль. Диагностика. – 2008. – № 4. – С. 35-41.
4. Карабиньош С.С. Методика определения напряжений в деталях при реализации голографических методов исследований. 2013 / С.С. Карабинеш. – MOTROL, Vol. 15. – No 3. – P. 183–189.
5. Карабиньош С.С. Дефекты. Повреждения деталей. Методы их определения. 2013 / С.С. Карабиньош. – Saarbrücken, Germany, Palmarium Academic Publishing. – 89 p.

Разработаны концептуальные основы дальнейшего технического обеспечения качества проведения ремонтов и обслуживания машин. Проведен анализ и установлены технологические основы реализации голографических методов при повышении эксплуатационной надежности и безотказности машин в процессе выполнения агротехнических работ в растениеводстве и животноводстве.

Детали, сельскохозяйственные машины, повреждения, дефекты, голография, дефектовка, диагностика, неразрушающий контроль, лазер.

Conceptual foundations for further technical support as repairs and maintenance of machines are detemnsned. Development of technological basis for implementation of holographic methods for improving operational safety and reliability of machines in the course of farming activities in crop and livestock production.

Details, agricultural machinery, damage, defects, holography, flaw, diagnostics, non-destructive testing, laser optical system.

УДК 655.3.022.1

РАЦІОНАЛЬНИЙ МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

***В.О. Кохановський, кандидат технічних наук
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”***

***В.В. Коробський, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

Наведено методику розрахунку раціонального способу відновлення деталей технологічного устаткування виходячи з позиції матеріаломісткості і економічної доцільності ремонту запчастин.

Деталь, способи відновлення, ремонт, якість ремонту.

Постановка проблеми. Постійна потреба в забезпеченні ремонтного виробництва запасними частинами – вагомий фактор зниження технічної готовності технологічного устаткування. Розширення виробництва запасних частин пов'язане з необхідністю ще більшого зростання матеріальних і трудових затрат. Водночас близько 75 % деталей забракованих при першому капітальному ремонті машин або устаткування ремонтпридатні, або можуть використовуватися взагалі без відновлення.

Альтернативою зростання темпів виробництва запасних частин є повторне використання спрацьованих деталей, відновлених в процесі ремонту обладнання.

© В.О. Кохановський, В.В. Коробський, 2015

Аналіз останніх досліджень. Огляд літератури по ремонту деталей сучасного технологічного устаткування показав недостатню ефективність застосовуваної протягом багатьох років системи планово-попереджувального обслуговування і ремонту техніки. В розглянутих джерелах висувуються пропозиції про проведення регламентних робіт і ремонту машин не по встановленим термінам або напрацюванням, а за фактичним рівнем їх технічного стану. Але комплексних показників, які би охоплювали функціональну, якісну та економічну складову ремонту деталей вони не наводять.

Мета досліджень. Виходячи з позиції матеріалоемності відновлення устаткування та економічної доцільності ремонту запчастин розробити методику розрахунку раціонального способу відновлення деталей технологічного устаткування (на прикладі поліграфічних машин). Це дасть змогу організовувати проведення ремонтів в короткий час та з меншими витратами матеріалів, праці та ін.

Результати досліджень. З ремонтної практики відомо, що більшість забракованих через спрацювання деталей практично зберігають свої функціональні властивості.

Вибір раціонального технологічного процесу відновлення деталей необхідно проводити з урахуванням ряду вихідних даних: розмір, форма і точність виготовлення деталі, її матеріал, термічна обробка, умови роботи, вид і характер дефекту, виробничі можливості ремонтного підприємства тощо.

При розробці технологій відновлення деталі важливо знати вид дефекту, тобто, чи охоплює він лише відносно невеликий обсяг металу деталі (локальний), чи має загальний характер [1].

При виборі раціонального способу відновлення деталей будемо керуватися трьома критеріями: застосовності, довговічності і техніко-економічним, як такими, що охоплюють функціональну, якісну та економічну складову ремонту технологічного устаткування. Критерій застосовності є технологічним критерієм і визначає принципову можливість застосування способів відновлення конкретних деталей. При цьому мають бути враховані умови роботи деталі у вузлі (наприклад, не можна відновляти зварюванням деталі механізмів управління і деталі, які сприймають при роботі великі питомі і динамічні навантаження).

На сьогоднішній день існує багато способів усунення спрацювання деталей: хромування, залізнення, вібродугове наплавлення, зміцнення поверхні методами порошкової металургії тощо [2].

Спосіб ремонту, твердість матеріалу, геометричні розміри та їх допуски, точність форми, шорсткість поверхні мають відповідати технічним вимогам на відновлення деталі [3]. Виходячи із наведених рекомендації, критерій застосовності визначаємо як функцію:

$$K_3 = \varphi \left(M_\partial; \Phi_\partial; D_\partial; C_\partial; H_\partial; \sum_{i=1}^m T_i \right), \quad (1)$$

де: M_∂ – матеріал деталі;

Φ_∂ – форма поверхні деталі, що відновлюється;

D_∂ – діаметр поверхні деталі, що відновлюється;

C_∂ – величина спрацювання деталі;

H_∂ – величина й характер навантаження, яке сприймає деталь;

T_i – сума технологічних особливостей способу відновлення, які визначають сферу його раціонального застосування.

За цим критерієм (1) вибираються конкурентні способи для подальшої їх оцінки за допомогою інших критеріїв. При цьому доцільно використовувати відповідне програмне забезпечення по розрахунку багатофакторних моделей та моделюванні навантажень у вузлах та з'єднаннях.

Наступний показник – критерій довговічності, визначається через коефіцієнт, який являє собою відношення довговічності відновленої деталі до довговічності нової деталі даного найменування [4]. Цей коефіцієнт визначаємо як функцію:

$$K_\partial = f_1(K_c; K_e; K_{зч}), \quad (2)$$

де: K_c – коефіцієнт стійкості проти спрацювання;

K_e – коефіцієнт витривалості;

$K_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення.

Числові значення коефіцієнтів стійкості проти спрацювання і витривалості можуть визначатися на основі стендових та експлуатаційних порівняльних випробувань нових деталей і відновлених деталей чи відповідних їм зразків на спеціальних приладах чи стандартних машинах (машинах тертя, машинах для випробовування на втопленість).

Значення коефіцієнта зчеплення можна визначити за такою залежністю:

$$K_{зч} = \frac{i_\partial}{i_e}, \quad (3)$$

де: i_∂ – дослідне значення міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом, кгс/мм²;

i_e – еталонні значення міцності зчеплення, кгс/мм².

Еталонні значення міцності беруться з відповідної нормативно-технічної документації та спеціалізованої літератури [4–7].

Дослідне значення міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом визначають методом відриву штифта (переважно конічної форми) від покриття. Виходячи із специфіки розглянутого параметра, треба мати на увазі, що значення коефіцієнта зчеплення не можуть бути більшими від одиниці. Числові значення K_c і K_e мо-

жуть бути більші за одиницю через те, що за рахунок застосування спеціальних покриттів та операцій по змащенню можливо забезпечити вищі значення стійкості проти спрацювання поверхонь та витривалості на втомленість відновлених деталей, ніж у деталей нових.

Коефіцієнт довговічності тільки у загальному випадку є функцією трьох аргументів. Стосовно до конкретних деталей він може бути функцією тільки двох або одного із них. Наприклад, для деталей, які не мають в процесі експлуатації руйнувань від втомленості, не має необхідності обчислювати значення коефіцієнта витривалості K_e . При цьому визначати коефіцієнт зчеплення у відношенні до способів не пов'язаних з нарощуванням металу (механічна обробка, пластичне деформування тощо) не має потреби.

В деяких випадках міцність зчеплення нарощеного шару з основним металом настільки надійна (наприклад, при механізованому наплавленні під флюсом), що можна апіорно брати значення що дорівнює одиниці.

У більшості випадків параметри, що характеризують стійкість проти спрацювання, міцність зчеплення нарощеного шару та витривалість на втомленість відновленої деталі не мають явного зв'язку один з одним. Разом з цим треба брати до уваги, що вичерпання ресурсу за будь-яким параметром, що визначається одним із розглянутих коефіцієнтів довговічності, дорівнює значенню того з коефіцієнтів, котрий має мінімальну величину. При цьому, якщо коефіцієнт зчеплення $K_{зч}=1$, а інші коефіцієнти мають ще більшу величину, то його значення при визначенні величини до уваги не приймаються.

Окремі значення коефіцієнтів довговічності за різних способів відновлення деталей наведені в [4]. Тому, ресурс відновленої деталі повинен забезпечувати нормативний пробіг вузла чи агрегату, в конструкцію якого входить деталь (не менше 80% норми для поліграфічних машин та агрегатів), числові значення коефіцієнта довговічності деталі не мають бути нижчими за 0,8 [7].

Техніко-економічний критерій є функцією двох аргументів:

$$K_{m.e.} = f(K_{np}; e), \quad (4)$$

де: K_{np} – коефіцієнт продуктивності способу;

e – показник економічності способу.

Економічний ефект від впровадження розробленого технологічного процесу відновлення деталі визначаємо за формулою:

$$e = \left[(C_{n.б}^e - C_{n.i}^e - E_n(K_i - K_б)) \right] N_e, \quad (5)$$

де: $C_{п.б}^B$ – повна собівартість відновлення за базовим варіантом технологічного процесу;

$C_{n,i}^B$ – повна собівартість відновлення за i -м (впроваджуваним) технологічним процесом;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_H = 0,15$);

K_i, K_6 – капіталовкладення відповідно за впровадженням та базовим техпроцесами (затрати на обладнання, інструмент, його проектування, виготовлення, монтаж на місці тощо);

N_6 – програма відновлення деталей.

Термін окупності від впровадження нової технології:

$$\tau_{ок} = \frac{\Delta K}{(C_{n,6}^6 - C_{n,i}^6) N_6}, \quad (6)$$

де: $\Delta K = K_i - K_6$ – додаткові капіталовкладення.

Висновок. В статті приводиться методика розрахунку раціонального способу відновлення деталей поліграфічного устаткування. Зокрема, було запропоновано три критерії, що охоплюють функціональну, якісну та економічну складові ремонту: застосовності, довговічності, техніко-економічний. Наведений порядок та рекомендації щодо їх розрахунку можуть використовуватися при плануванні ремонтів деталей поліграфічного обладнання з метою зменшення витрат та підвищенні якості відновлених деталей.

Список літератури

1. Киричок П.О. Технологія поліграфічного машинобудування : навчальний посібник / П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.В. Шевчук, А.П. Гавриш, О.І. Лотоцька. – К.: НТУУ «КПІ», ВПК «Політехніка», 2014. – 504 с.
2. Волков П.Н. Ремонт полиграфического оборудования / П.Н. Волков, С.Т. Галкин, Л.М. Добин, Ю.И. Якименко. – М.: Книга, 1982. – 262 с.
3. Положение о техническом обслуживании и ремонте оборудования полиграфических предприятий. – М.: Госкомпечать СССР, Книжная палата, 1990. – 274 с.
4. Елизаветин М.А. Технологические способы повышения долговечности машин / М.А. Елизаветин, Э.А. Сателъ. – М.: Машиностроение, 1994. – 145 с.
5. Деджидас Л. Листовая офсетная печатная машина: механизмы, эксплуатация, обслуживание / Ллойд Деджидас, Томас Дистри ; пер. с англ. – М.: ЦАПТ, 2007. – 488 с.
6. Вилсон Д. Дж. Рулонная офсетная печатная машина: механизмы, эксплуатация, обслуживание / Вилсон Д. Дж. – М.: Принт-Медиа центр, 2007. – 424 с.
7. Технология капитального ремонта полиграфического оборудования / Госкомпечать СССР. – М.: Книга, 1981. – Вып. 1. – 3212 с.

Наведено методику расчета рационального способа восстановления деталей технологического оборудования исходя из позиции материалоемкости и экономической целесообразности ремонта запчастей.

Деталь, способы восстановления, ремонт, качество ремонта.

Imposed the method of calculating rational way of technological equipment's details recovery based on position of materials consumption and economic feasibility of repair parts.

Detail, methods of recovering details, repair, quality of repair.

УДК 621.774.001

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИХ ВИРОБІВ
В ГАЛУЗІ МАШИНОБУДУВАННЯ**

***А.П. Мартинов, кандидат технічних наук
Донбаська державна машинобудівна академія***

***Г.О. Іванов, кандидат технічних наук
Миколаївський національний аграрний університет***

***О.М. Бистрий, інженер
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

Проведено аналіз особливостей формування у майбутніх спеціалістів навиків проектування виробів з обґрунтованим вибором виду взаємозамінності. Пропонується комплекс технічних і організаційних заходів по удосконаленню процесу навчання, методиці нормування точності і технологічності складання виробів.

Спеціаліст, виробництво, виріб, галузь, машинобудування.

Постановка проблеми. В умовах ринкової економіки якість підготовки випускників технічних і аграрних вищих навчальних закладів визначається, головним чином, ступенем формування у майбутніх спеціалістів навиків та вміння виробляти конкурентоспроможну продукцію. Тому вища школа повинна інтегрувати в свої освітні стандарти, в навчальні плани і структуру основних дисциплін, сукупні вимоги виробництва і бізнесу, причому бажано з врахуванням особливостей кадрового забезпечення підприємств регіону.

Навчальний процес по профільюючим дисциплінам спрямований на стимулювання студентів до використання на практиці тих знань і вмінь, які необхідні професійно підготовленому випускнику.

© А.П. Мартинов, Г.О. Іванов, О.М. Бистрий, 2015

Аналіз останніх досліджень. В процесі виготовлення будь-якого виробу всіх типів виробництва машин, в кінцевому рахунку, вирішується задача забезпечення його складання з забезпеченням відповідного виду геометричної взаємозамінності.

Типові технологічні процеси складання машинобудівних виробів і основні підходи до забезпечення технологічності представлені в літературі, наприклад, у [1], а з врахуванням особливостей важкого машинобудування також в [2], де, однак, не має рекомендації за методикою навчання спеціалістів цієї галузі знань.

В процесі виготовлення будь-якого виробу за всіх типів виробництва вирішується завдання забезпечення технологічності складання із забезпеченням відповідного виду взаємозамінності. В спеціальної технічної літературі широко використовується термін «оброблюваність» деталі, під якою розуміють здатність матеріалів піддаватися оброблянню різанням або, інакше, комплекс властивостей матеріалів, що забезпечують при їх обробленні різанням досягнення оптимальних значень основних технологічних показників (швидкість різання, якість поверхні, сили різання тощо) [3].

Проблема забезпечення технологічності складання є комплексною і включає, понад все, питання визначення оптимальних допусків, граничних відхилів і посадок при проектуванні виробу з обґрунтуванням вибором виду взаємозамінності (повна, неповна, групова, з пригонкою або з регулюванням).

Послідовність процесів проектування, виготовлення з'єднань і складання виробів машинобудування показує, що важливою стороною в діяльності вищих і середніх навчальних закладів є здійснення процесу безперервної підготовки студентів з дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання» протягом всього періоду навчання.

При проектуванні конструкторської і технологічної документації, що пов'язана з вибором необхідної точності поверхонь та їх шорсткості, обґрунтуванням посадок з врахуванням технологічних особливостей обробки і, особливо, з обґрунтованим нормуванням відхилів форми і розташування поверхонь необхідно, враховувати сучасні діючі стандарти на основні норми взаємозамінності, оскільки це в першу чергу формує якісні показники машинобудівних виробів і їх конкурентоспроможність [4].

В процесі навчання перелічені заходи формують та закладають фундамент інженерного мислення в галузі проектування, виготовлення і контролю конкурентоспроможності продукції.

Тому рівень кваліфікації спеціаліста в галузі виготовлення виробів в значній ступені залежить від якості підготовки його по дисципліні «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання».

Складність дисципліни – в органічному зв'язку положень, що розглядаються, і технічних рішень по питанням, що відносяться до виконання виробом службового призначення, технології його виготовлення і складання (частіше всього тут, говорячи мовою філософії, має місце «закон єднання і боротьби протилежностей»), а також до контролю готової продукції, забезпечення її якості – багатьох із цих питань студенти до цього не вивчали.

Тому дуже важливо, щоб в початкової літературі знаходили відбиття сучасні представлення і методики нормування точності, призначення посадок в з'єднаннях, в тому числі, наприклад, в складаних одиницях зі стандартними вальницями кочення, які є найбільш розповсюдженими в машинобудівних виробках незалежно від їх серійності.

Методики нормування точності вальниць кочення. Незважаючи на те, що складанні одиниці зі стандартними вальницями кочення (загальні технічні умови – за ДСТУ ГОСТ 520-2003) є найбільш поширеними у машинобудівних виробках незалежно від їх серійності, процес їх з'єднання з деталями досліджено недостатньо – комплексні дослідження проведені лише стосовно радіальних дворядних роликових вальниць типу 3182100 (ГОСТ 7634-75) з конічним отвором, при установці яких радіальний зазор у вальниці регулюється шляхом осевого переміщення внутрішнього кільця відносно конічної шийки шпинделя [5, 6].

Метою досліджень є дослідження загальних факторів, що забезпечують точність складаних одиниць з вальницями кочення з досягненням при цьому потрібного характеру сполучення кілець з поверхнями вала та отвору.

Результати досліджень. Проблема забезпечення складаності є комплексною і включає, передусім, питання призначення оптимальних допусків, граничних відхилів і посадок при проектуванні.

Посадки вальниць кочення на вал і в корпус мають вибиратись з врахуванням типу і розміру вальниці, умов її експлуатації, значення і характеру навантажень, що діють на неї, але, перш за все, як відомо, виду навантаження кілець: місцеве, циркуляційне чи коливальне.

Згідно найбільш поширеного серед практиків довідника [7], а також усіх без винятку підручників і навчальних посібників посадка циркуляційно навантаженого кільця вальниці визначається за так званою інтенсивністю радіального навантаження за формулою:

$$P_R = \frac{R}{(B - 2 \cdot r)} \cdot k_d \cdot k_l \cdot k_2, \quad (1)$$

де: P_R – інтенсивність радіального навантаження, кН/м;

R – постійне за напрямком радіальне навантаження, кН;

k_D – динамічний коефіцієнт посадки, що залежить від навантаження (за перевантаження до 150 %, помірних поштовхах і вібрації $k_D = 1$, за перевантаження до 300 %, сильних поштовхах і вібраціях $k_D = 1,8$);

k_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь послаблення посадкового натягу за порожнистого вала і тонкостінного корпусу (для вала порожнистого $k_1 = 1-3$; суцільного – $k_1 = 1$, для корпусу $k_1 = 1-1,8$);

k_2 – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження R між рядами роликів у дворядних конічних роликівих вальницях чи між подвоєними кульковими вальницями за наявності осьового навантаження на опору ($k_2 = 1-2$; за відсутності осьового навантаження $k_2 = 1$);

B – ширина підшипника, м;

r – радіус закруглення фаски кільця, м.

Для вибору місцево навантажених кілець у згаданих джерелах наводяться рекомендовані поля допусків отворів і валів залежно від типу вальниці, умов роботи і характеру навантаження. Ця методика і величини коефіцієнтів наводяться з посиланням на публікації 1948-1956 років без будь-яких доказів. Якщо динамічний коефіцієнт (k_D) визначити ускладнено, посадку можна визначити за мінімальним натягом між циркуляційно навантаженим кільцем і поверхнею деталі. Послідовність розрахунків.

Визначаємо найменший натяг циркуляційно навантаженого кільця за формулою:

$$N_{min} = \frac{13 \cdot R \cdot k}{(B - 2 \cdot r) \cdot 10^6}, \quad (2)$$

де: N_{min} – найменший розрахунковий натяг, що забезпечує необхідну міцність з'єднання циркуляційно навантаженого кільця вальниці з валом, мм;

R – радіальне навантаження на вальницю, кН;

k – конструктивний коефіцієнт, що залежить від серії вальниці ($k = 3,5$ – особливо легка серія; $k = 2,8$ – легка серія; $k = 2,3$ – середня серія; $k = 2,0$ – важка серія).

Вибираємо необхідну стандартну посадку, що відповідає умові:

$$N_{min.cm} \geq N_{min}. \quad (3)$$

де: $N_{min.cm}$ – найменший натяг стандартної посадки.

Натомість, як відомо, чинним в Україні є ГОСТ 3325-85, де наведені не тільки методологічні основи призначення посадок кілець вальниць, а також докладні таблиці для їх вибору з врахуванням, перш за все, режиму її роботи (залежно від співвідношення діючого радіального навантаження та динамічної вантажопідйомності вальниці), виду розглянутого вище навантаження, типу та діаметру валь-

ниці і навіть з численними прикладами машин і складаних одиниць. До речі, з посиланням на цей стандарт в [7] наведено укладену таблицю з простим переліком рекомендованих полів допусків і посадок кілець різних типів вальниць залежно тільки від виду навантаження, але без прикладів обґрунтованого підбору посадок.

Порівняльний аналіз обох методик призначення розглядуваних посадок чи полів допусків показує наступні їх відмінності.

В таблицях для вибору посадок кілець з циркуляційним навантаженням за методикою [7] відсутні деякі поля допусків валів, а саме r_6 , r_6 , r_7 , що рекомендуються ГОСТ 3325-85 для численного класу машин та агрегатів, працюючих в важких умовах та полів допусків з основним відхилом h , передбачених стандартом для прецизійних машин (гідромотори, малогабаритні електромашини, внутрішліфувальні шпинделі та ін.) і вальниць на закріплювальних втулках (ГОСТ 8545-75).

Для місцево навантажених кілець зазвичай потрібні посадки з зазором або перехідні з більшою ймовірністю зазору - за такою посадкою кільце під дією пускового моменту, поштовхів і вібрацій час від часу прокручується відносно сполученої поверхні, завдяки чому забезпечується рівномірне спрацювання доріжки кочення і можливість осевого переміщення з компенсацією таким чином температурних деформацій.

Для вибору посадок таких кілець ГОСТ 3325-85, на відміну від матеріалів в [7], наведені конкретні посадки, звичайно, з врахуванням потрібного класу точності вальниці і режиму роботи відповідної машини.

Але недоліком у методиці вибору згідно праці [7] і інших вищенаведених джерел є те, що вони не враховують особливості виготовлення складаних одиниць з рознімними корпусами. Як свідчить досвід машинобудування, номінальна (розрахункова) довговічність з'єднань з вальницями кочення в реальних умовах може набагато знижуватися через деформації кілець вальниць, недостатню площу прилягання їх до поверхонь (менше 70...75 %) через необґрунтоване призначення технічних вимог до точності з'єднань і поверхонь з'єднаних деталей, а також деформації обох частин корпусу після оброблення площин роз'єму та отворів (тут після попереднього їх складання). Останнє зумовлене технологічною спадковістю, пов'язаною з деформаціями, які виникають при обробці деталей [8, 11], особливо отворів нежорстких (якими є корпусні деталі), через перерозподіл внутрішніх залишкових напружень в товщі металу [9].

Для мінімізації цього явища при виготовленні і складанні рознімних корпусів виконують ряд заходів, спрямованих на забезпечення якості складаних одиниць, що розглядаються. Так, наприклад, змі-

щення е осі отвору відносно площини роз'єму обмежують допусками (рис. 1,а), а перед установкою крупних вальниць в напів отвори припасовують його посадкові поверхні на ділянках, прилеглих до площини роз'єму, виконуючи так званий розвал, розміри якого регламентовані спеціальним нормативним документом залежно від габаритів отвору (рис. 1,б).

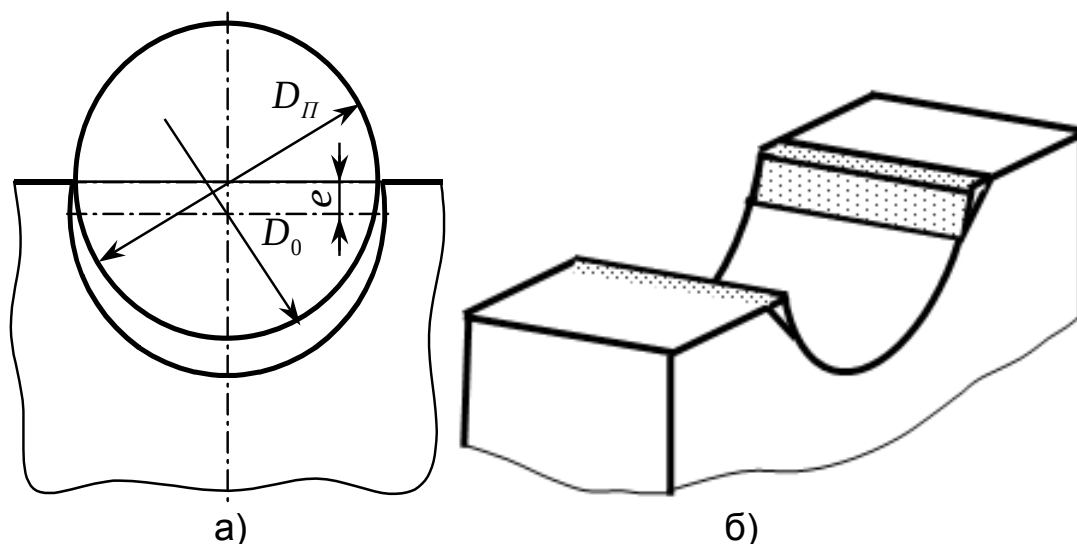


Рис. 1. Схема установки зовнішнього кільця вальниці в напівотвір корпусу (а) та припасування поверхонь (б).

Неважко побачити з рис. 1,а, що умову складання зовнішнього кільця вальниці з напівотвором можна виразити умовою:

$$2\sqrt{\frac{D_0^2}{4} - e^2} \geq D_{\Pi}, \quad (4)$$

де: D_{Π} і D_0 – дійсні діаметри зовнішнього кільця відповідно вальниці і отвору корпусу відповідно.

Після нескладних розрахунків отримаємо, що теоретично складання забезпечується за умови [9], що:

$$e \leq \frac{1}{2}\sqrt{D(ES_0 - \Delta D_m)}. \quad (5)$$

Тут D – номінальний діаметр з'єднання; ΔD_m і ES_0 – відповідно нижній відхил зовнішнього діаметра кільця вальниці і верхній відхил отвору корпусу.

Розрахунки з врахуванням ГОСТ 25346-82 (приймалися 6 і 7 квалітети для отворів) і ГОСТ 3325-85 показали, що, наприклад, для діапазону діаметрів 100...500 мм, найбільш поширеного у крупних редукторах, допустима величина зміщення осі отвору відносно площини роз'єму корпусу складає 1...4 мм [8], що з урахуванням економічно досяжної точності вивірювання борштанги розточувальних верс-

татів практично не обмежує складаності складаної одиниці вальниці. Щоб гарантувати зазор у з'єднаннях зовнішніх місцево навантажених кілець вальниці в отворах роз'ємних корпусів відповідно до ГОСТ 3325-85 рекомендується призначати поля допусків $H6$, $H7$, $G6$, $G7$ незалежно від типу вальниці, габаритів і умов експлуатації. Схема розташування полів допусків з'єднань зовнішнього кільця вальниці згідно рекомендованих варіантів наведена на рис. 2.

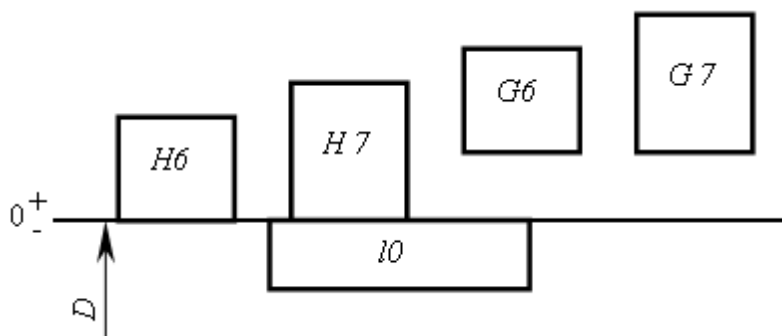


Рис. 2. Схема розташування полів допусків зовнішнього кільця вальниці ($I0$) і отвору ($H6$, $H7$, $G6$, $G7$) в корпусі.

Зауважимо, що поля допусків $JS7$, $K7$ і $M7$, які наведені серед інших в таблицях [7] та інших вищезгаданих джерелах для отворів тут взагалі недопустимі, бо, по перше, з полями допусків кілець $I0$, $I6$ і ін. вони дадуть перехідні (а не з зазором!) посадки, а по друге, не враховують описані виробничі явища технологічної спадковості.

Як показує виробничий досвід, на діаметри отворів роз'ємних корпусів призначаються поля допусків з основним відхилом H . Це, на наш погляд, пояснюється звичним традиційним принципом призначення полів допусків на розміри усіх внутрішніх поверхонь в "тіло" деталі, тобто в даному випадку в "плюс" від нульової лінії, що технологічно раціонально. Незважаючи на це, не завжди якість складання, особливо крупних рознімних корпусів, відповідає необхідним нормам. Виробничі спостереження показали, що частенько для установки вальниць при припасуванні доводиться знімати шар, в 2...3 рази більший за нормований.

Проведені розрахунки середніх зазорів у з'єднаннях у разі використання полів допусків отвору $H6$, $H7$, з одного боку, і полів допусків $G6$, $G7$, з іншого боку (за схемою рис. 2) показали, що в останньому випадку величина зазору в з'єднаннях з номінальними діаметрами 100...500 мм більше в 1,2...1,7 разів [9].

Принагідно зауважити, що у разі призначення на отвори таких корпусів полів допусків $H6$, $H7$ та характерної через психологічний чинник оператора від'ємної асиметрії при обробки отвору за методом пробних проходів, зазори в з'єднаннях (особливо з урахуванням

відхилів форми і розташування сполучених поверхонь) взагалі близькі до 0, а в деяких випадках (при несприятливому підсумовуванні відхилів поверхонь в процесі складання) замість необхідних для експлуатації зазорів в таких з'єднаннях фактично може утворюватись навіть натяг.

Висновки

1. При проектуванні складаних одиниць з вальницями кочення посадки циркуляційно навантажених кілець потрібно призначати з врахуванням співвідношення величини навантаження та динамічної вантажопідйомності.

2. На діаметри отворів роз'ємних корпусів під зовнішні кільця з місцевим навантаженням доцільно призначати поля допусків *H6*, *H7*, *G6*, *G7*, а в крупних складаних одиницях - поля допусків *G6*, *G7*, що дозволить створити зазор в з'єднанні із кільцем, а, значить, можливість періодичного повертання останнього в процесі експлуатації складаної одиниці вальниці і зниження нерівномірності зносу доріжок кочення і пов'язаного з цим підвищення довговічності складаних одиниць з вальницями кочення.

Список літератури

1. *Машиностроение*. Энциклопедия. Т.Ш-5 Технология сборки в машиностроении / *А.М. Дальский* [и др.]. – М.: Машиностроение, 2005. – 640 с.
2. *Martynov A.P.* Standart Machine Elements, Power Transmissions and Pipelines / *A.P. Martynov, A.I. Zhabin* // *Assembly practice in Machine Building*. – Moscow: Mir Pablishers, 1987. – P. 226–255.
3. *Мартинов А.П.* Складаємість з'єднань в машинобудівних виробках з врахуванням стандартів GPS / *А.П. Мартинов* // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ, 2012. – Вип. 30. – С. 279–285.
4. *Мартинов А.П.* Современное состояние стандартов на основные нормы взаимозаменяемости и формирование инженерных навыков выпускников вузов / *А.П. Мартинов, Р.М. Трищ* // Современное образование и интеграционные процессы / Сб. науч. трудов междунар. научно-метод. конференции. – Краматорск, 2012. – С. 242–249.
5. *Блаер И.Л.* Метод устранения перекосов беговой дорожки роликоподшипников / *И.Л. Блаер* // Вестник машиностроения. – 2005. – №11. – С. 8–11.
6. *Мартынов А.П.* Исследования собираемости крупных шпиндельных узлов с подшипниками качения / *А.П. Мартынов, О.Ф. Бабин, И.С. Коваленко* // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ, 2009. – Вип. 24. – С. 142–152.
7. *Палей М.А.* Допуски и посадки : справочник / *М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский*. – С-Пб.: Политехника, 2001. – 576 с.
8. *Іванов Г.О.* Дослідження процесу високопродуктивного шліфування деталей сільськогосподарських машин / *Г.О. Іванов, В.В. Дитинченко, В.В. Кушнар'єв* // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 1998. – Вип. 2. – С. 123–129.

9. Гинкул С.П. Оптимальная последовательность операций механической обработки корпусных деталей / С.П. Гинкул // Судостроительная промышленность. Технология и организация производства судового машиностроения. – 1986. – С. 31–37.
10. Мартынов А.П. Конструктивно-технологічні фактори підвищення складанності складаних одиниць з вальніцями кочення / А.П. Мартынов, Г.О. Іванов // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2013. – Вип. 2. – С. 186–193.
11. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : підручник / Г.О. Іванов, В.С. Шебанін, Д.В. Бабенко, С.І. Пастушенко ; за ред. Г.О. Іванова і В.С. Шебаніна. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 577 с.

Проведен анализ особенностей формирования у будущих специалистов навыков проектирования изделий с обоснованным выбором вида взаимозаменяемости. Предлагается комплекс технических и организационных мер по усовершенствованию процесса обучения, методике нормирования точности и технологичности составления изделий.

Специалист, производство, изделие, область, машиностроение.

The analysis of features of formation at future experts of skills of design of products with reasonable choice of type of interchangeability is carried out. The complex of technical and organizational measures for training process improvement, technique of rationing of accuracy and technological effectiveness of drawing up products is offered.

Expert, production, product, area, mechanical engineering.

УДК 658.531:631.3

ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНИХ НОРМ В РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

**З.В. Ружило, І.Л. Роговський, кандидати технічних наук
В.І. Мельник, кандидат економічних наук**

Наведено та обґрунтовано напрями розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві агропромислового комплексу.

Напрямы, система, норма, ремонт, виробництво.

Постановка проблеми. За роки незалежності України в агропромисловому комплексі відбулися суттєві зміни кількісного і якісного

© З.В. Ружило, І.Л. Роговський, В.І. Мельник, 2015

складу машинно-технічного парку [1]. В господарствах залишилось менше половини наявних тракторів і комбайнів, які придбані в минулому сторіччі, а придбати нові машини у багатьох товаровиробників не має можливості.

Щорічно споживачам реалізовується лише 2-3% від річної потреби фізичних тракторів, зерно-, кукурудзо-, кормо- і льонозбиральних комбайнів, а ґрунтообробних і посівних машин менше 1 відсотка.

Фондооновлення сільськогосподарських підприємств дійшло до крайньої межі. Через це з кожним роком загострюється проблема механізації і енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Як показують дослідження [2–5], щоб вийти АПК із такої затяжної кризи необхідно провести комплекс заходів по оновленню технічними засобами сільськогосподарські підприємства, залучаючи при цьому, як власні кошти так і кошти інших джерел. Залучаючи власні кошти від амортизаційних відрахувань, кошти інвесторів, членів колективу підприємств та партнерів по участі в реалізації певних спільних проектів, кредитів банків та використовуючи лізинговий довгостроковий товарний кредит можна порівняно в короткий термін сформувати якісно новий машинно-технічний парк і довести його склад до технологічної потреби.

Мета досліджень. Визначення напрямків розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві для підвищення ефективного виробництва в обслуговуючих галузях АПК.

Результати досліджень. У сучасних умовах, коли вітчизняне виробництво знаходиться в стадії технічної кризи, український ринок інтенсивно наповнюється імпортною технікою і споживачеві не уникнути проблем з її ремонтом і технічним обслуговуванням. Дистриб'ютори не вирішують питання її ремонту і забезпечення дорожми запасними частинами, а у споживачів не завжди вистачає власних коштів на їх придбання.

Проведені дослідження свідчать, що трактор за перші чотири роки експлуатації зношується в середньому на 80%. Кожні 25–30 днів роботи в ньому відказує якийсь вузол. При капітальному ремонті в тракторі замінюється до 40% деталей [3]. Наведені обставини зумовлюють підвищені вимоги не тільки до експлуатації такої техніки, але і до технології та організації її ремонту.

За останні роки суттєво змінились технологія і організація ремонтно-обслуговуючих робіт. Зменшились обсяги ремонту повнокомплектних машин, а збільшились обсяги ремонту агрегатів та вузлів, а також відновлення спрацьованих деталей машин, що базуються на типових та групових технологічних процесах. В ремонтних майстернях загального призначення, як правило, з низьким рівнем оснаще-

ності та механізації, виконуються розбирально-складальні роботи і ремонт нескладної сільськогосподарської техніки та обладнання.

Для організації та планування ремонтних робіт було створено відповідно і нормативну базу. Технічні та технологічні чинники є базовими для встановлення змісту робіт і їх трудомісткості при ремонті. Трудомісткість ремонту – це функція конструктивно-технологічних особливостей машини. Зміст робіт при капітальному ремонті встановлюється на основі типового технологічного процесу на ремонт, а зміст робіт при технічному обслуговуванні – за заводською інструкцією або за технологічними вказівками з комплекту ремонтної документації. Через організаційні чинники відбувається реалізація змісту робіт. Вони дають змогу знаходити найбільш раціональні прийоми виконання операцій і враховувати режими роботи та ступінь використання обладнання.

З часом змінилися і об'єкти нормування. Якщо раніше в першу чергу приділяли більше уваги мікроелементному нормуванню, то в ринкових умовах на рівні підприємств нормується час, який затрачається на ремонт і технічне обслуговування одиниці виробу, тобто укрупненому нормуванню – розроблення комплексних норм на вузол, агрегат, збірну одиницю і системних норм на товар, що пропонується на ринку.

Укрупнені норми часу є методичною основою та інженерно-економічною базою для визначення орієнтованих обсягів техсервісних робіт та їх прогнозування для різних видів ремонту і технічного обслуговування.

Це база для складання бізнес-планів. З їх допомогою визначається: необхідна чисельність робітників; склад, кількість і завантаження обладнання; фонд заробітної плати і потрібний річний кошторис.

Виходячи із визначення понять «норма» і «норматив» система економічних норм і нормативів являє собою сукупність нормативно-технічних, економічних, юридично-технічних, юридично-економічних показників, що виражають відношення людей до матеріального змісту відтворення виробництва, а також взаємини людей в його процесі. Модель системи технічних норм приведена на рис. 1. Методологією є незворотна пряма необхідність витрачання ресурсів для надання послуг і (або) ремонтного виробництва продукції підприємствами обслуговуючої галузі за організаційно-економічною функцією нормативного формування за структурою самих витрат ресурсів й механізму практичного прийняття управлінських рішень з їх витрачання.

Оптимізоване витрачання ресурсів рекомендується розглядати за цільовою функцією нормативної продуктивності:

$$P_{\text{нормат}} \{V_{\text{орг-тех}_i}, i \in [1; n]\} = \frac{R_{\text{нормат}}}{S_{\text{нормат}}} \rightarrow \max,$$

де: $P_{\text{нормат}}$ – величина нормативної продуктивності; $R_{\text{нормат}}$ – величина нормативних результатів; $S_{\text{нормат}}$ – величина нормативних витрат; $V_{\text{орг-тех}_i}$ – i -й організаційно-технологічний варіант ведення ремонтного підприємства обслуговуючої галузі із n скінченої множини.

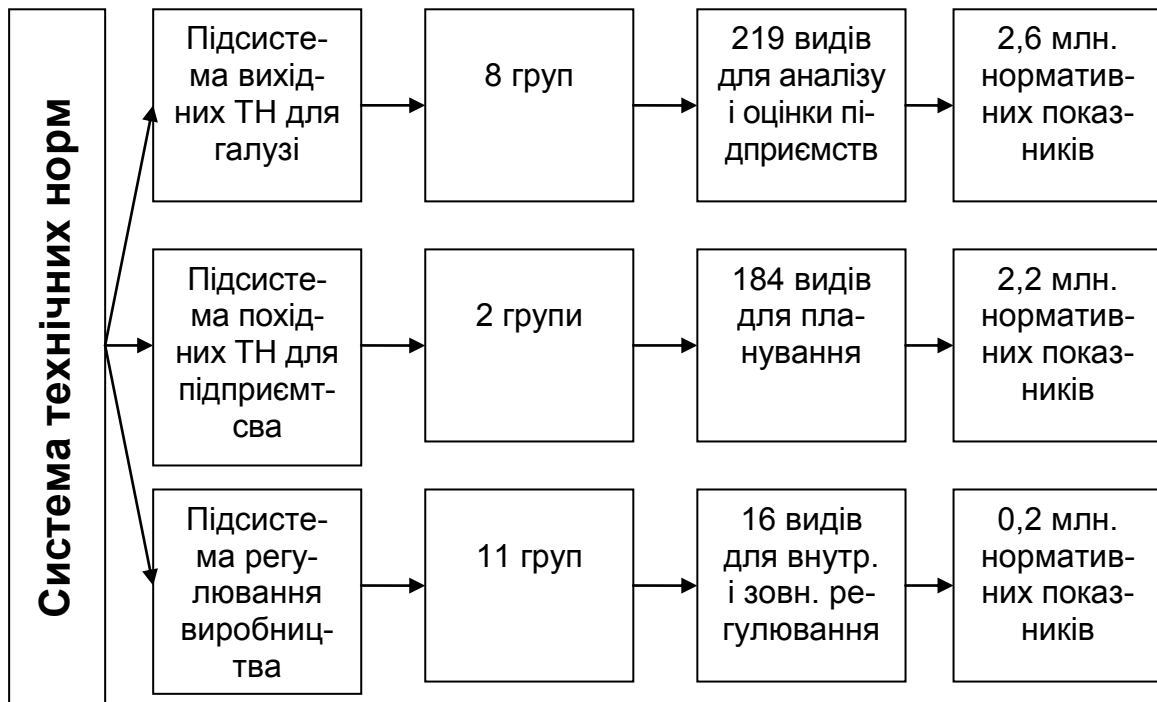


Рис. 1. Узагальнена модель нормативної системи ремонтного підприємства.

Застосування певних видів ресурсів лежить в площині нормування витрат ресурсів та їх зведення у систему взаємовпливових об'єктів, тобто ресурс розглядається не як самостійна фасета, а як фасета, що має тісні зв'язки із суміжними фасетами з обмеженнями нормативами по видах ресурсів.

У сільськогосподарських підприємствах використовується понад 5 млн. нормативних показників 419 видів. Із них 219 видів використовується для аналізу й оцінки підприємств, 184 – для їх планування, 16 – для зовнішнього і внутрішнього економічного регулювання. На кожний вид припадає в середньому 10-12 тис. нормативних показників.

Основними методами розроблення і формування системи технічних норм являються розрахунково-аналітичний і аналітично-дослідний.



Рис. 2. Напрями розроблення систем технічних норм в ремонтному виробництві.

Крім того використовуються вже сформовані роками: статистичний метод, метод динамічних коефіцієнтів, метод аналогії, метод типових представників. Ними ні в якому разі не можна нехтувати, а необхідно тільки збагачувати новим змістом передового досвіду господарської діяльності в конкурентному середовищі. Наприклад в

”Агро-Союзи” тільки на нормативній основі вдалось обґрунтувати і реалізувати альтернативні енерго- та ресурсозберігаючі технології ремонтного виробничого підрозділу, в яких було закладено оптимізовані витрати за видами ресурсів, що дозволило мінімізувати ризики інновацій на підприємстві.

Висновок. Розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві повинно забезпечувати підвищення не тільки продуктивності праці, а і оптимального використання ресурсного потенціалу (фінансів, ресурсів, енергетики, інформації тощо). При цьому продуктивність розглядається, як відношення результатів праці до затрат.

Список літератури

1. *Статистичний щорічник України за 2014 рік.* – К.: Консультант, 2015. – 145 с.
2. *Мельник В.І.* Функціонування ринків в проекті інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу / *В.І. Мельник, З.В. Ружи́ло, І.Л. Роговський, С.З. Хмельовська* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С. 366–376.
3. *Ружи́ло З.В.* Удосконалення програми відродження сільськогосподарського машинобудування / *З.В. Ружи́ло, В.І. Мельник, І.Л. Роговський* // Збірник тез I Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців «Перспективи та тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарських машин та знарядь». – Житомир, 2014 (16-17 жовтня). – С. 102–103.
4. *Ружи́ло З.В.* Нормування надійності функціональних вузлів кормозбиральних комбайнів / *З.В. Ружи́ло, І.Л. Роговський* // Збірник тез III Науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (8-26 грудня 2014 р.). <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.
5. *Большаков В.Н.* Правове регулювання інженерного моніторингу при дослідженні інтелектуальної власності в АПК / *В.Н. Большаков, І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 2. – С. 142–148.

Наведені и обоснованы направления разработки системы норм в ремонтном производстве агропромышленного комплекса.

Направление, система, норма, ремонт, производство.

Imposed and the directions of the development of standards for repair production agriculture.

Direction, system, norm, repair, production.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ ТА ЛЕЗВІЙНОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАМИ З ПСТМ НА ОСНОВІ НІТРИДУ БОРУ

О.В. Сушко, кандидат технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет

В статті наведено порівняльний аналіз процесів шліфування та лезвійної обробки інструментами на основі нітриду бору на прикладі загартованих сталей та чавунів.

Надтверді матеріали, лезвійна обробка, інструмент, режими різання, шліфування, модифікації нітридів бору.

Постановка проблеми. Процес різання лезвійним інструментом на основі надтвердих модифікацій нітриду бору істотно відрізняється від процесу різання діамантовим інструментом, що зумовлюється його особливими фізико-механічними властивостями. Надтверді матеріали на основі нітриду бору, декілька поступаючись алмазу по твердості, характеризуються високою термостійкістю, високим опором термічним ударам і циклічним навантаженням, а також слабкою хімічною взає-модією з залізом, який є основним компонентом більшості матеріалів, що піддаються обробці різанням [1].

Різання загартованих сталей лезвійним інструментом з нітриду бору супроводжується нижчим рівнем сил різання в порівнянні з обробкою традиційним інструментом. Зі зростанням швидкості різання інтенсивність зменшення сил різання знижується. На інтенсивність зниження коефіцієнта тертя впливає й теплопровідність інструментального матеріалу: чим вона нижча, тим нижче коефіцієнт тертя за інших рівних умов. Так, при терті алмазу з латунню (зовнішнє тертя) вплив швидкості практично відсутній, тоді як при терті нітриду бору з латунню (внутрішнє тертя) швидкість, як тепловий чинник, надає великого впливу на коефіцієнт тертя [2].

Процес лезвійної обробки нітридоборним інструментом, завдяки високій якості, є конкурентоздатним абразивній обробці. Необхідні подальші дослідження зі встановлення впливу швидкості різання на якість обробленої поверхні для можливості порівняльного аналізу процесу шліфування та лезвійної обробки інструментами із ПСТМ на основі нітриду бору.

Аналіз останніх досліджень. При лезвійній обробці загартованих сталей різцями з нітриду бору останні піддаються всім видам

© О.В. Сушко, 2015

знос: абразивному, дифузійному, хімічному, окислювальному. Проте, в сумарний знос в різні періоди експлуатації інструменту внесок кожного з цих видів неоднаковий. Інтенсивність зносу різна та залежить від умов різання [2]. На зносостійкість різців з нітриду дуже впливають фазово-структурні особливості інструменту. При точінні загартованої сталі різцями з нітриду бору на основі сфалериту (ельбор-Р) оптимум в залежності довжини шляху різання від швидкості зрушений у бік великих її значень. А оптимум для різців на основі вюрциту (гексаніт-Р) зрушений у бік менших швидкостей різання [3]. Це пояснюється відмінністю фізико-механічних властивостей ельбору-Р і гексаніту-Р, й, в першу чергу, різною термостійкістю, теплопровідністю, різними показниками міцності.

При розточуванні загартованих сталей на дооптимальних і оптимальних швидкостях різання знос різців з ПСТМ відбувається в основному по задній поверхні, а збільшення швидкості різання призводить до зносу різця як по задній, так і по передній поверхнях. За критерій затуплення різців з нітриду бору при розточуванні сталі ШХ15 слід приймати знос по задній поверхні не більше 0,4мм. При необхідності забезпечувати високу якість обробленої поверхні, критерій зносу може змінюватися [4].

Встановлений зв'язок між швидкістю різання V і стійкістю при обробці T загартованих сталей інструментами з ПСТМ. Отримана узагальнена залежність, яка описує поліекстремальну структуру залежності стійкості від чинників різання: подачі, глибини та діаметру обробки та найповніше відображає закономірності фізичних явищ при різанні [3].

Метою досліджень є порівняльний аналіз процесів шліфування та лезвійної обробки інструментами з ПСТМ на основі нітриду бору при обробці загартованих сталей.

Результати досліджень. Заміна процесу шліфування лезвійною обробкою інструментами із ПСТМ на основі нітриду бору при обробці деталей із загартованих сталей і чавунів є особливо перспективною. Тут перевага лезвійної обробки виявляється найповніше.

Для докладного аналізу переваг лезвійної обробки розглянемо схеми різання при шліфуванні, точінні і розточуванні. Площа контакту шліфувального круга з деталлю значно перевищує площу контакту різця з деталлю (рис. 1).

Це перевищення складає десятки або, навіть, сотні разів. У зв'язку з цим робота різання та тепловиділення при шліфуванні значно більше, ніж при точінні. Таким чином, локальність контакту інструменту з деталлю при лезвійній обробці і, отже, додатково локальність високої температури до обробленої поверхні є відмітною особливістю точіння і фрезерування порівняно зі шліфуванням. Як-

що порівняти довжину контакту круга і різця з оброблюваною деталлю у напрямі вектору швидкості різання, то можна побачити, що при точінні вона істотно менша.

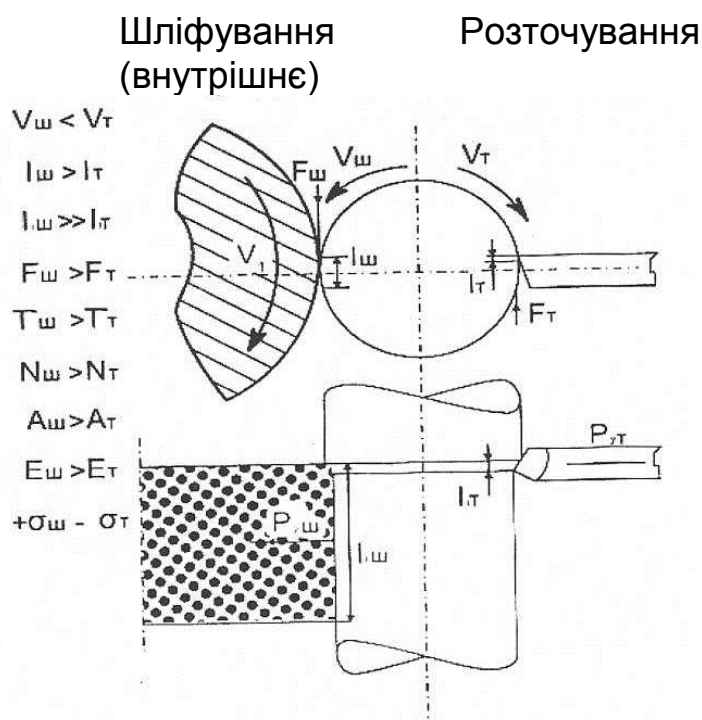


Рис. 1. Схема контакту інструменту з оброблюваною поверхнею при шліфуванні і точінні.

Окружна швидкість деталі при шліфуванні менша, ніж при точінні і, отже, час дії високої температури на поверхню деталі при шліфуванні більше, ніж при точінні. Тому ще однією особливістю процесу точіння, порівняно з шліфуванням, є короткочасність дії високої температури на оброблену поверхню. Так, час дії високої температури при точінні на дуже малу поверхню деталі становить 0,00001 сек.

Таким чином, локальність і короткочасність дії високої температури на поверхню деталі при лезвійній обробці є гарантією того, що висока температура не проникає на велику глибину і не «встигає» провести істотні фазово-структурні зміни в поверхневому шарі деталі. Так, якщо на поверхні деталі при точінні різцями з нітриду бору загартованої сталі температура досягає 1200°C, то, як показують дослідження, на глибині 10 мкм від поверхні вона не перевищує 100°C. Отже, високі температури, які мають місце при точінні з-за локальності і короткочасності їх дії в дуже тонких шарах деталі, з урахуванням величезних градієнтів, можуть приводити до аморфізації якнайтоншого поверхневого шару деталі, чому сприяє контакт з таким інтенсивним аморфізатором, яким є нітрид бору.

Шліфування Розточування (внутрішнє)

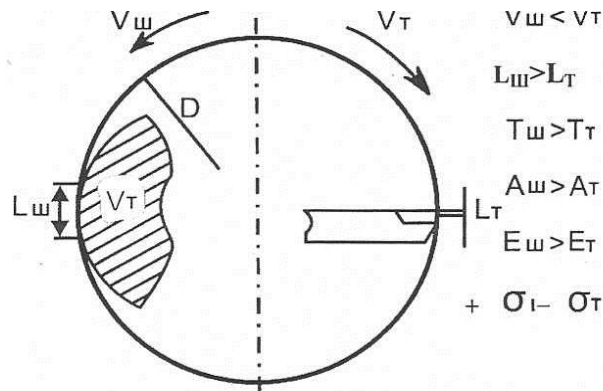


Рис. 2. Схема контакту інструменту з оброблюваною поверхнею при шліфуванні і розточуванні.

Як відомо, наявність тонкої аморфної плівки на обробленій поверхні деталі підвищує експлуатаційні характеристики останньої. При порівнянні внутрішнього шліфування та розточування переваги лезвійної обробки виявляються ще яскравіше, оскільки величина контакту шліфувального круга тут більша, ніж при зовнішньому шліфуванні [4].

Якщо порівняти характеристики якості обробленої поверхні при шліфуванні і точінні, то можна побачити, що по такому критерію, як шорсткість, точіння не поступається шліфуванню. Так, при точінні загартованих сталей різцями з нітриду бору можна забезпечити шорсткість $Ra = 0,3\text{--}0,4$ мкм. По критерію шорсткості – відносній опорній довжині профілю t_p – шліфування поступається точінню. Порівняння залишкової напруги в поверхневих шарах обробленої поверхні після шліфування і точіння показує, що лезвійна обробка забезпечує отримання сприятливої стискаючої напруги в той час, як шліфування – розтягуючої.

Слід зазначити, що при точінні повністю відсутні припали, мікро- і макротріщини в обробленій поверхні. Фазово-структурні зміни в приповерхневому шарі при точінні мінімальні, розшарування поверхні відсутні.

Розглянуті переваги процесу точіння порівняно з шліфуванням іноді ігноруються під тим приводом, що процес шліфування продуктивніший, ніж точіння. Як показує аналіз порівняння варіантів оброблюваних поверхонь, шліфування далеко не завжди є більш продуктивним точіння. Так, внутрішнє шліфування, особливо поверхонь малих діаметрів, багато разів програє процесу розточування, і лише при обробці великих діаметрів, процеси можна порівнювати. При заміні шліфування на точіння при обробці багатьох деталей із загарто-

ваної сталі багатократні переваги утворюються не тільки за рахунок меншого машинного часу, але й за рахунок економії допоміжного часу. Можливість виготовлення на одному верстаті, ліквідовуючи обробку на шліфувальному верстаті, значно скорочує цикл обробки.

Як показує практика роботи, особливо закордонна, сьогодні все більше деталей із загартованих сталей обробляються лезвійним інструментом, а не абразивним. При цьому перспективним є не тільки точіння, але й фрезерування. Так, фрезерування чавунних напрямних металорізальних верстатів забезпечує високу якість при дуже високій продуктивності ($V = 900$ м/хв. при хвилинній подачі $S = 200\text{--}600$ мм/хв.) при практично повній відсутності теплових деформацій [4]. Ще одна перевага, що вигідно відрізняє лезвійну обробку від шліфування – можливість відмовитися від застосування змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР). Так, лезвійна обробка інструментами з синтетичних надтвердих матеріалів широкої гами оброблюваних матеріалів, зокрема загартованих сталей і чавунів, проводиться, як правило, без застосування ЗОР, що значно покращує екологічні показники.

Як показує аналіз енерговитрат цих процесів, шліфування є більш витратним, причому практично завжди, оскільки питома робота різання і потужність завжди більше при шліфуванні. Враховуючи актуальність енерговитратних підходів в оцінці процесу механічної обробки, висновок про те, що лезвійна обробка менш енерговитратною, є вельми важливим.

Висновок. Таким чином, порівняльний аналіз процесів шліфування і лезвійної обробки дозволяє зробити висновок про певні переваги останнього перед першим. Це доводить, що найбільш ефективним та конкурентоздатним при обробці загартованих сталей, чавунів різної твердості, наплавлених матеріалів, що важко обробляються, високолегованих сталей і сплавів є застосування лезвійного інструменту з нітриду бору. Тут перевага надтвердих нітридоборних матеріалів реалізується найповніше.

Список літератури

1. Девин Л.Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов / Л.Н. Девин // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 7. – С. 24–28.
2. Сушко О.В. Лезвійна обробка інструментами на основі надтвердих модифікацій нітриду бору / О.В. Сушко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 148. – С. 219–224.
3. Сушко О.В. Залежність зносостійкості інструменту з нітриду бору від режимів різання при точінні / О.В. Сушко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 148. – С. 225–234.

4. Зубарь В.П. Перспективы применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов / В.П. Зубарь // Сверхтвердые материалы. – 2014. – №4. – С. 42.

В статье представлены некоторые результаты сравнительного анализа процессов шлифования и лезвийной обработки инструментами на основе плотных модификаций нитрида бора закаленных сталей и чугунов.

Сверхтвердые материалы, лезвийная обработка, инструмент, режимы резания, шлифование, модификации нитридов бора.

The paper presents some results of comparative analysis of the processes of grinding and blade processing tools based on dense modifications of boron nitride hardened steels and cast irons.

Supersolid materials, blade processing, tool, cutting modes, grinding, modifications of nitrides of boron nitride.

УДК 514.18

ПАРАМЕТРИЧНІ РІВНЯННЯ ПЛОСКИХ КРИВИХ ІЗ ЗАКЛАДЕНИМ ПАРАМЕТРОМ ЗМІНИ ЇХ КРИВИНИ

Т.С. Пилипака, кандидат технічних наук

Складено диференціальне рівняння плоскої кривої із закладеним параметром кривини. Завдяки цьому кривину можна збільшувати в задане число раз в кожній точці кривої або збільшувати чи зменшувати на задану величину. Чисельними методами побудовано модифіковані криві. Для окремих випадків отримано рівняння в кінцевому вигляді.

Параметричність, рівняння, плоска крива, кривина.

Постановка проблеми. При виготовленні деталей циліндричної форми згинанням листового матеріалу виникає явище часткового їх розгинання після припинення дії деформуючих зусиль [1]. Тому згинати листовий матеріал потрібно не до заданої форми, а до фіктивної із врахуванням того, що після часткового розгинання він набуде потрібної форми. Кривину k кривої вздовж її дуги s описує натуральне рівняння $k=k(s)$. Модифікацією цього рівняння можна впливати на зміну кривини кривої, тобто збільшувати її до фіктивного значення.

© Т.С. Пилипака, 2015

Аналіз останніх досліджень. Упереджене згинання листового матеріалу в циліндричну форму зводиться до знаходження кривої ортогонального перерізу циліндра із заданою закономірністю кривини вздовж дуги. В праці [2] запропоновано ввести сталу величину p , названу коефіцієнтом пружинення. Множенням цього коефіцієнта на натуральне рівняння кривої можна пропорційно збільшити кривину в необхідне число раз. Такий підхід було застосовано при виготовленні конічних деталей і показано, що на коефіцієнт пружинення потрібно множити нормальну складову кривини кола – основи конуса [3]. В загальному випадку згинання торсових поверхонь показано, що на коефіцієнт пружинення потрібно множити тільки нормальну складову кривої на поверхні торса [4, 5]. Моделюванню плоских кривих із заданою закономірністю розподілу кривини присвячені праці [6, 7].

Мета досліджень. Розробити математичну модель конструювання плоских кривих із можливістю їх модифікації шляхом заданого закону розподілу кривини.

Результати досліджень. Відомі формули переходу від натурального рівняння $k=k(s)$ до параметричних, тобто до координатного запису. Якщо ми збільшимо кривину вихідної кривої у p раз, тобто помножимо натуральне рівняння на певний коефіцієнт p , то ці формули набувають вигляду:

$$x = \int \cos\left(p \int k ds\right) ds; \quad y = \int \sin\left(p \int k ds\right) ds. \quad (1)$$

Використовуючи рівняння (1), можна здійснити перетворення будь-якої плоскої кривої, заданої натуральним рівнянням $k=k(s)$ за допомогою чисельних методів. Проте є і такі випадки, коли рівняння (1) можна проінтегрувати. Найпростіший випадок – вихідною кривою є коло. Перетвореною кривою теж буде коло із іншою кривиною. Коло – не єдина крива, яка після перетворення залишається собою, змінюючи при цьому тільки внутрішній параметр. Наприклад, натуральне рівняння евольвенти кола має вигляд:

$$k = \frac{1}{\sqrt{2as}}, \quad (2)$$

де: a – радіус вихідного кола, стала величина.

Множенням рівняння (2) на сталу p отримаємо натуральне рівняння перетвореної кривої, яка теж є евольвентою кола:

$$k_{\pi} = \frac{p}{\sqrt{2as}} = \frac{1}{\sqrt{2\frac{a}{p^2}s}} = \frac{1}{\sqrt{2a_{\pi}s}}, \quad (3)$$

де: $a_{\pi}=a/p^2$ – вихідне коло для одержаної модифікованої евольвенти.

Із (3) можна зробити висновок: зменшення кола вихідної евольвенти у p^2 раз веде до зростання кривини нової евольвенти в кожній відповідній точці у p раз.

Підставивши натуральне рівняння (2) у формули (1), після інтегрування одержимо параметричні рівняння евольвенти, кривину якої можна змінювати за допомогою значення сталої p :

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{p^2} \cos\left(\sqrt{\frac{2}{as}} ps\right) + \frac{\sqrt{2as}}{p} \sin\left(\sqrt{\frac{2}{as}} ps\right); \\ y &= \frac{a}{p^2} \sin\left(\sqrt{\frac{2}{as}} ps\right) - \frac{\sqrt{2as}}{p} \cos\left(\sqrt{\frac{2}{as}} ps\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Криві, що допускають подібне перетворення, можна розпізнати. Для них множник p не змінює саме натуральне рівняння, а лише змінює певну сталу величину. Наприклад, натуральне рівняння логарифмічної спіралі має вигляд:

$$k = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{s}, \quad \text{звідки} \quad k_n = \frac{p \operatorname{tg} \alpha}{s} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{s}, \quad (5)$$

де: α і α_n – кути, під яким перетинає спіраль радіус-вектор, що виходить із початку координат, до і після перетворення. Отже збільшення кривини кожної точки логарифмічної спіралі в p раз дає нову логарифмічну спіраль із зміненим кутом α_n , що знаходиться із виразу:

$$\alpha_n = \operatorname{Arctg}(p \operatorname{tg} \alpha). \quad (6)$$

Параметричні рівняння модифікованої за формулами (1) логарифмічної спіралі після інтегрування набувають вигляду:

$$\begin{aligned} x &= \frac{s}{1+p^2} [\cos(p \ln s) + p \sin(p \ln s)]; \\ y &= \frac{s}{1+p^2} [\sin(p \ln s) - p \cos(p \ln s)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Для певного класу кривих перетворення їх натурального рівняння збільшенням кривини у p раз призводить до того, що сама крива змінюється і параметричних рівнянь у кінцевому вигляді не існує. Прикладом може служити ланцюгова лінія, натуральне рівняння якої має вигляд:

$$k = \frac{a}{a^2 + s^2}, \quad (8)$$

де: a – стала величина.

Якщо підставити (8) у (1), то вирази (1) не можуть бути проінтегровані при довільному значенні сталої p . Зокрема, при $p=1$ інтегрування можливе і воно дає параметричні рівняння вихідної кривої – ланцюгової лінії:

$$x = a \cdot \text{Arcsinh}\left(\frac{s}{a}\right); \quad y = \sqrt{a^2 + s^2}. \quad (9)$$

Цікаво те, що при заміні p на ціле число (2, 3 і т.д.) система символної математики програмного продукту „*Mathematica 5*” інтегрує вирази (1). Наприклад, для $p=2$ параметричні рівняння перетвореної ланцюгової лінії будуть:

$$x = 2a \text{Arctg} \frac{s}{a} - s; \quad y = a \ln\left(1 + \frac{s^2}{a^2}\right). \quad (10)$$

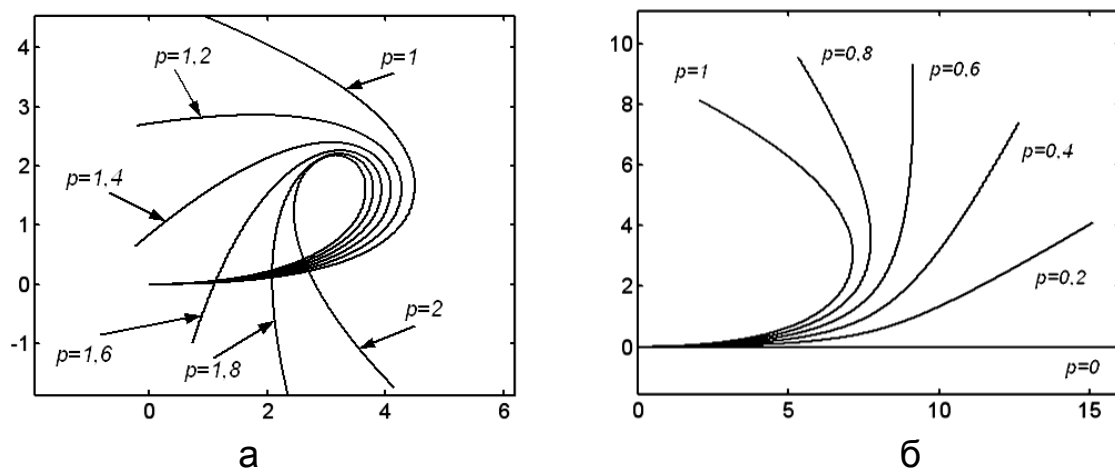


Рис. 1. Перетворення ланцюгової лінії множенням її натурального рівняння на сталу p : а) $2 \geq p \geq 1$; б) $1 \geq p \geq 0$.

Для дробових значень сталої p параметричних рівнянь в кінцевому вигляді не існує, тому криві потрібно будувати за допомогою чисельних методів. На рис. 1 побудовано перетворені криві для деяких цілих та дробових значень p .

Криві для $p=1$ (ланцюгова лінія) і для $p=2$ (модифікована крива із вдвічі більшою кривиною) побудовані за рівняннями (9) і (10) відповідно, для дробових значень p – чисельними методами. Для інших цілих значень сталої p теж можна знайти параметричні рівняння, щоправда по мірі збільшення чисельного значення p вони стають більш громіздкими.

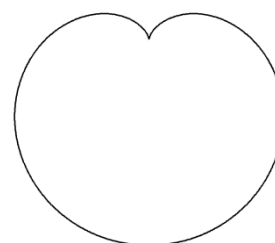
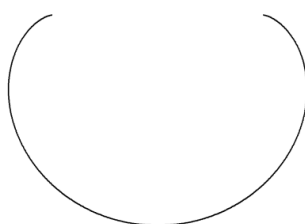
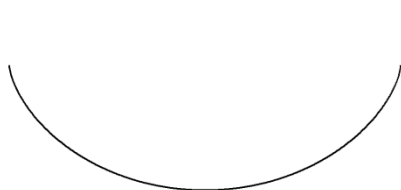
Подібно до ланцюгової лінії можна модифікувати циклоїду і отримувати параметричні рівняння тільки для цілих значень p . Можна показати, що при $p=3$ вітка циклоїди перетворюється у кардіоїду. В табл. 1 наведено узагальнене натуральне рівняння і відповідні параметричні рівняння для різних значень p .

Порівнявши модифіковане натуральне рівняння циклоїди при $p=3$ $k = 3/\sqrt{16a^2 - s^2}$, де a – стала величина, з натуральним рівнян-

ням кардіоїди $k = 3/\sqrt{64a_k^2 - s^2}$, бачимо, що вони ідентичні при співвідношенні сталих $a_k = a/2$. Відомо що схема утворення цих кривих подібна: обидві криві є траєкторією точки кола, яке котиться без ковзання по прямій лінії (циклоїда) і по колу цього ж радіуса (кардіоїда). З одержаного співвідношення $a_k = a/2$ сформулюємо наступну властивість, яка об'єднує циклоїду і кардіоїду в кінематичному плані.

1. Перетворення циклоїди збільшенням її кривини.

Модифікація циклоїди множенням її натурального рівняння на p :		$k = \frac{p}{\sqrt{16a^2 - s^2}}$
$p=1$ (циклоїда)	$p=2$	$p=3$ (кардіоїда)



$$x = \frac{s}{8a} \sqrt{16a^2 - s^2} + 2\text{Arcsin} \frac{s}{4a};$$

$$y = \frac{s^2}{8a}.$$

$$x = \frac{s}{24a^2} (24a^2 - s^2);$$

$$y = -\frac{(16a^2 - s^2)^{3/2}}{24a^2}.$$

$$x = \frac{s(16a^2 - s^2)^{3/2}}{64a^3};$$

$$y = \frac{s^2}{64a^3} (24a^2 - s^2).$$

Якщо при утворенні циклоїди взяти коло радіуса r , а при утворенні кардіоїди – коло радіуса $r/2$, то при відомій схемі побудови цих кривих траєкторією точки першого кола буде циклоїда, а другого – кардіоїда, причому довжини віток цих кривих будуть рівними, а кривина кардіоїди в кожній її точці буде втричі більшою кривини циклоїди у відповідній точці.

Перетворення плоскої кривої можна здійснювати збільшенням або зменшенням кривини в кожній її точці на сталу величину k_0 . Таке перетворення опишеться натуральним рівнянням:

$$k_{\pi} = k(s) + k_0. \quad (11)$$

При переході від натурального рівняння (11) до параметричних отримаємо:

$$x = \int \cos\left(\int k ds + k_0 s\right) ds; \quad y = \int \sin\left(\int k ds + k_0 s\right) ds. \quad (12)$$

В рівняннях (12) можна розписати суму синуса і косинуса, однак ці рівняння не можуть бути проінтегровані до кінця ні для яких

залежностей $k=k(s)$ за виключенням хіба що $k=const$. Отже інтегрування рівнянь (12) необхідно здійснювати чисельними методами. На рис. 2 показано перетворення циклоїди збільшенням та зменшенням її кривини на сталу величину k_0 . Всі криві симетричні і починаються із однієї точки із спільною дотичною.

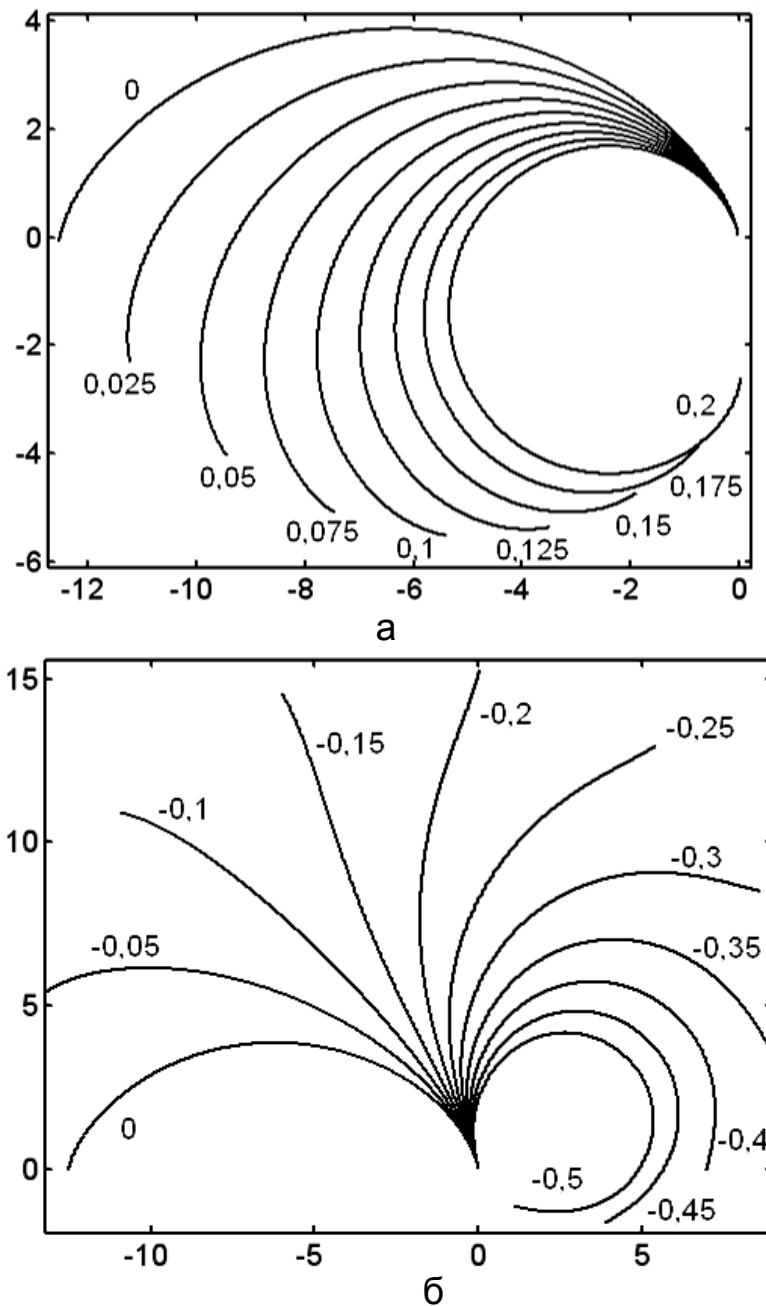


Рис. 2. Перетворення циклоїди збільшенням та зменшенням її кривини на сталу величину k_0 : а) зростання кривини кожної наступної кривої на $\Delta k_0=0,025$; б) зменшення кривини кожної наступної кривої на $\Delta k_0=0,05$.

Зробимо аналогічне перетворення ланцюгової лінії. Підставимо (8) у (12) і після часткового інтегрування отримаємо параметричні рівняння вказаного перетворення:

$$\begin{aligned} x &= a \int \frac{\cos(k_0 s)}{\sqrt{a^2 + s^2}} ds - \int \frac{s \cdot \sin(k_0 s)}{\sqrt{a^2 + s^2}} ds ; \\ y &= a \int \frac{\sin(k_0 s)}{\sqrt{a^2 + s^2}} ds + \int \frac{s \cdot \cos(k_0 s)}{\sqrt{a^2 + s^2}} ds . \end{aligned} \quad (13)$$

Поступове перетворення ланцюгової лінії при збільшенні та зменшенні її кривини з кроком 0,1 показано на рис. 2 і рис. 3.

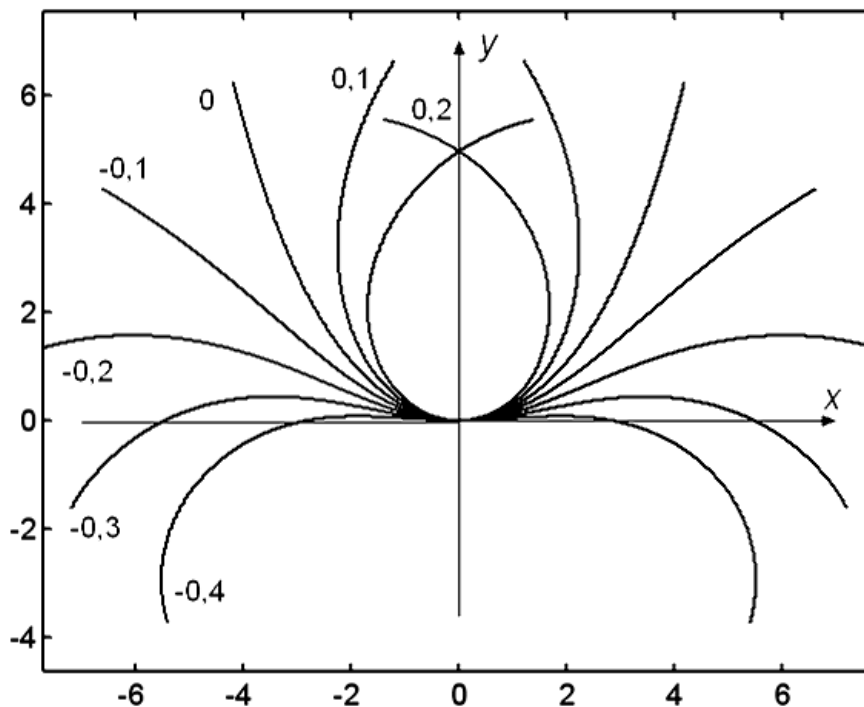


Рис. 3. Перетворення ланцюгової лінії збільшенням та зменшенням її кривини з кроком 0,1.

Особливістю перетворення кривої збільшенням або зменшенням її кривини на сталу величину є те, що у перетвореної кривої можуть бути точки перегину при їх відсутності у вихідної кривої.

Висновок. При збільшенні або зменшенні кривини кривої у стале число раз деякі криві не змінюють своєї суті, назви і рівнянь (наприклад, коло, евольвента кола, логарифмічна спіраль), а тільки форму. Інша група кривих при такому перетворенні натурального рівняння трансформується у інші криві (наприклад, ланцюгова лінія, циклоїда). При збільшенні або зменшенні кривини кривої на сталу величину вона перетворюється у іншу криву (за виключенням кола), причому характерною ознакою такого перетворення може бути наявність точок перегину в утвореній кривій при їх відсутності у вихідної.

Список літератури

1. Лысов М.И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки / М.И. Лысов. – М.: Машиностроение, 1996. – 236 с.
2. Пилипака С.Ф. Визначення фіктивного контуру деталі при згинанні листового матеріалу в циліндричну поверхню заданої форми із врахуванням пружинення металу / С.Ф. Пилипака, В.М. Несвідомін, Т.С. Пилипака // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2005. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 30. – С. 67–73.
3. Пилипака С.Ф. Згинання конічних поверхонь із листового матеріалу із врахуванням пружинення металу / С.Ф. Пилипака, В.М. Несвідомін, Т.С. Пилипака // Збірник наукових праць Київського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск). – К.: ДОП КНУТД, 2005. – С. 159–162.
4. Пилипака Т.С. Дослідження взаємозв'язку між кривиною і нормальною кривиною плоских перерізів торса однакового нахилу твірних при його згинанні / Т.С. Пилипака // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 40. – С. 145–151.
5. Несвідомін В.М. Дослідження взаємозв'язку між повною та нормальною кривиною ліній кривини торса при його згинанні / В.М. Несвідомін, Т.С. Пилипака // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 81. – С. 82–87.
6. Борисенко В.Д. Геометричне моделювання плоского криволінійного обводу із застосуванням кубічного закону розподілу його кривини / В.Д. Борисенко, С.А. Устенко, В.С. Комар // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 79. – С. 52–57.
7. Устенко С.А. Моделювання кривої із застосуванням кубічного закону розподілу її кривини / С.А. Устенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2008. – Вып. 2 (31). – С. 480–484.

Составлены дифференциальные уравнения плоской кривой с заданным параметром кривизны. Благодаря этому кривизну можно увеличить в заданное количество раз в каждой точке кривой или уменьшить и уменьшить на заданную величину. Численным методом построено модифицированные кривые. Для отдельных случаев получены уравнения в конечном виде.

Параметричность, уравнение, плоская кривая, кривизна.

The differential equation of a plane curve with the included parametre of curvature is made. Thanks to it curvature can be increased in the set number of times in each point of a curve or to increase or reduce by a specified value. Numerical methods build the inoculated curves. For separate cases the equations in the final form are gained.

Parametric, equations, plane curve, curvature.

РЕСУРСНО-ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

**О.О. Налобіна, доктор технічних наук
Національний університет водного господарства
та природокористування**

В статті розглянуті особливості аналітичних підходів до системності відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт.

Відновлення, працездатність, лісова машина.

Постановка проблеми. Можливість виконувати режим ρ визначається станом системи $S_r(t_\rho)$, а це означає, що $\rho = \rho(S_r(t_\rho))$, де r – відносна готовність системи.

Якщо задані $\Theta_\rho, t_\rho, 1, \rho(S_r(\Theta_\rho)) > \rho(S_r(t_\rho))$, а також задані ресурси (стан ресурсів, які використовуються при керуванні готовністю) $V(\Theta_\rho)$, тоді виникають дві задачі.

1. Перевести систему $S_r(\Theta_\rho)$ у $S_r(t_\rho)$ за час $|\Theta_\rho, t_\rho|$, якщо необхідні для цього ресурси $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|) \leq V(\Theta_\rho)$. При цьому ресурси повинні бути використані оптимальним чином. А поняття оптимальності визначається раніш.

2. Нехай $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|) > V(\Theta_\rho)$. Тоді необхідно обрати режим, який належить до цієї ж стадії відновлення працездатності, найбільш близький по заданій мірі до режиму, що визначається.

Аналіз останніх досліджень. Незалежно від типу задачі в її розв'язку присутня умова наявності інформації про $S_r(t), t \in (0, T]$ [1]. Крім того, необхідно мати прогноз розвитку $S_r(t), \Theta; t < T$ [2], для того, щоб передбачити визначену реакцію на конкретний альтернативний варіант розвитку стану, та необхідну інформацію про $V(t)$ [3], прогноз витрат ресурсів для кожного варіанту розвитку $S_r(t)$ [4], оскільки у будь-який момент можуть виконуватися або буде необхідне виконання визначених об'ємів робіт по підтримці готовності [5].

Мета досліджень. Таким чином, готовність машини можна означити як стан, з якого система може з заданою ймовірністю перейти до будь-якого режиму. Який належить виділеній підмножині режимів при наявності визначеної кількості ресурсів.

Результати досліджень. Приймаючи таке означення мети досліджень. Можна виділити перелік проблем, які пов'язані з підтримкою готовності:

- означення достовірності ідентифікації стану $S_r(t)$;
- означення дійсного стану (ресурсу) $V(t)$;
- означення досяжності $S_r(t_\rho)$, $S_r(\Theta_\rho)$;
- розрахунок необхідних ресурсів $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|)$;
- конструювання гіпотез про шляхи розвитку $S_r(t), \Theta; t < T$;
- розробка рішень про розподіл та призначення ресурсів;
- розробка технологічного процесу реалізації розв'язків та використання ресурсів;
- керування процесом переводу з $S_r(\Theta_\rho)$ у $S_r(t_\rho)$;
- інформування керівництва про $S_r(t)$.

Готовність таким чином, є функція часу, стану відновлення працездатності машини для лісотехнічних робіт та ресурсів. Для кожного режиму функціонування системи характерно притягнення конкретної множини технічних засобів, які при їх використанні забезпечують або вхід у новий (наступний) режим, або знаходження у поточному (заданому) режимі. Така система технічних засобів складає цілісну структуру засобів з механічними, енергетичними та інформаційними зв'язками. Тоді, готовність визначається знаннями про структури технічних засобів, їх характеристики тощо, інакше кажучи, потрібно мати моделі технічних засобів системи і мати діапазони значень усіх атрибутів. Ця інформація може бути зафіксована у даних про кваліфікацію персоналу або базі знань інформаційного забезпечення систем підтримки й прийняття рішень.

Таким чином технічна готовність машини визначає можливість досягнення мети, для якої створювалась система, тобто для досягнення визначеного ефекту. Пониження рівня готовності знижує ефективність машини або призводить, у деяких випадках, до втрат, які перевищують не тільки вартість засобів підтримки готовності або самої системи, але й вартості об'єкту, на якому така система встановлюється.

Рівень технічної готовності можна характеризувати залишковим призначенням ресурсом технічних складових об'єкту, які представляють собою установки, агрегати, механізми та інше обладнання, що забезпечує працездатність машини для лісотехнічних робіт у відповідності з призначенням. Важливою умовою достовірності оцінки технічної готовності є виявлення закономірностей інтенсивності витрат ресурсу від умов і режимів експлуатації шляхом спеціальної

організації ресурсних випробувань, цілеспрямованого збору і обробки дослідних даних про результати діагностичних операцій.

В цьому випадку загальну формалізовану постановку задачі оцінки та проектування технічної готовності можна здійснити на основі ресурсно-діагностичної моделі технічного стану (РДМ ТС) наступним чином.

Нехай існує функція зміни ТС об'єкту, або дискретного параметру t , яка характеризується набором, або вектором ознак w , які належать деякому діагностичному простору ознак W . Припустимо, що існує деяке розв'язуюче правило екстраполяції результатів виміру $w_1...w_x$ у моменти $t_1...t_x$, які утворюють множини $T_k = (t_1...t_n)$, $W(T_k) = (w_1...w_x)$.

Позначимо через $w(1/T_k)$ процес, який можна спрогнозувати на відрізку (t_x, t_{x+1}) , отриманий за допомогою правила екстраполяції. Тоді при умові існування області Ω_x у просторі, яка відповідає працездатним станам об'єкту, для всіх $t \in (t_x, t_{x+1})$, при всіх $w(t/T_k) = \Omega_x$, ТС буде також відповідати працездатності об'єкту. Для оцінки впливу умов експлуатації позначимо вектор зовнішніх впливів $g(t)$, а вектор параметрів об'єкту позначимо через a .

Домовимось також, що при оцінці вектора ознак w стає відомим вектор помилок вимірів $n(t)$. Крім того, нехай існує вектор системи вимірів W та об'єкту b , який забезпечує формування деякого вектору технічного стану об'єкту $u(t)$ за допомогою функції $w = G(u, n, b)$.

Тоді зміни технічної готовності будуть характеризуватися диференціальним рівнянням: $du/dt = f(u, g, a)$, яке розглядається у просторі $TC-U$. Внаслідок цього існує область допустимих станів у просторі U , яка відповідає Ω_x .

Таким чином можна знайти і $U(T_k)$, яке відповідає $w(T_k)$, та провести екстраполяцію процесу $u(t)$ на відрізку (t_x, t_{x+1}) . Аналогічно можна стверджувати, що ТС на відрізку (t_x, t_{x+1}) не досягне граничного стану (ГС), якщо $u(t) \in \Omega_x$ при всіх $t \in (t_x, t_{x+1})$.

Апостеріорна ймовірність досягнення об'єктом граничного стану (ГС) буде дорівнювати $P(t/T_k) = P(u(t)) \in \Omega_x; t \in (t_x, t)/w(T_k)$. Оскільки задача розглядається стосовно до прогнозування ТС, межа Ω_x повинна відповідати граничним станам.

Апостеріорна функція розподілу ймовірності досягнення граничного стану, яка відповідає фіксованим значенням процесу $U(T_k)$ на множині (T_k) буде дорівнювати $P\{(t/u(T_k)) = P(u(t)) \in \Omega_x; t \in (t_k, t)/u(T_k)\}$. Тоді можна записати:

$$P(t/T_k) = \int_{\Omega_x^*} P[t/u(T_k)]P[(u(T_k)/w(T_k)]du(T_k), \quad (1)$$

де: x – число моментів часу $t_1, \dots, t_x$, в яких відбувалися вимірювання процесу $w(t)$.

При значенні допустимої ймовірності досягнення об'єктом граничного стану – $P_{дон}$ індивідуальний або залишковий ресурс $t_{зал}$ буде визначатися нерівністю $P(t_k + t_{зал})/\Gamma \geq P_{дон}$. Гранично допустимий фактично залишковий ресурс можна знайти з рівності $P(t_k + t_{зал})/\Gamma = P_{дон}$.

Інформація, яка необхідна для оцінки технічної готовності знаходиться, головним чином, у результатах спостережень $w(T_k)$, за значеннями яких визначаються оцінки вектору стану $\bar{u}(T_k) = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_x)$, параметрів об'єкту $\bar{a}$ та система вимірів $\bar{b}$. В цьому випадку ідентифікація ТС здійснюється за допомогою співвідношення $P(t/T_k) = P[t/\bar{u}(T_k)]$. Така оцінка є більш грубою в порівнянні з оцінкою. В якій використовується функція розподілу ймовірностей.

Функція розподілу залишкового ресурсу як показника ТС та технічної готовності буде мати вигляд: $F_{зал}(t_{зал}/T_k) = 1 - P(t_k + t_{зал}/T_k)$.

Розглянуті поняття та показники відображають конструктивно-технологічні особливості системи та їх елементів як ресурсоносіїв і залежать від пристосованості системи ТОР до виконання поновлювальних операцій.

Висновок. Можна зробити висновок, що розглянута загальна формалізована постановка задачі оцінки допустимого рівня технічного стану в процесі управління технічною готовністю машин для лісотехнічних робіт обумовлює можливість ефективного використання розробленої ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів і підсистем при наявності кількісної оцінки впливу умов та режимів експлуатації на інтенсивність витрат назначеного ресурсу і оцінки фактичних залишкових ресурсів. Використання таких формалізованих методик та моделей опису технічного стану об'єктів зі створенням спеціальних комп'ютерно-орієнтованих програмних засобів дають можливість розробникам та експлуатаційному персоналу проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкта із його підсистем.

Список літератури

1. *Forestry machinery and woodworking equipment condition monitoring and fault diagnosis technology and Application* / <http://www.industrialpdf.cc/machinery-instrument-industry/7115004/forestry-machinery-and-woodworking-equipment-condition-monitoring-and-fault-diagnosis-technology-and-application.html>.

2. *Application of Random Forest Algorithm in Machine Fault Diagnosis* / http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-84628-814-2_82.html.
3. *Fault diagnostics in LOGSET forest machines Development of improved fault diagnostics in the TOC control system of LOGSET harvesters and forwarders* / https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61034/Ronkko_Ville.pdf?sequence=1.
4. *TimberCare Service Agreement* / https://www.deere.co.uk/en_GB/services_and_support/forestry_service/timbercare/timbercare.page.
5. *ISO 11783-12:2014. Tractors and machinery for agriculture and forestry : Serial control and communications data network : Part 12: Diagnostics services* / http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=59381.

В статье рассмотрены особенности аналитических подходов к системности восстановления трудоспособности машин для лесотехнических работ.

Восстановление, трудоспособность, лесная машина.

In paper the considered features of analytical approaches to systemacy of restoration of working capacity of mashines for forestry works.

Restoration, working capacity, forest mashine.

УДК 621.873

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ МОСТОВОГО КРАНУ

***В.П. Лисенко, В.С. Ловейкін, доктори технічних наук
В.В. Крушельницький, аспірант****

У роботі проведений динамічний аналіз руху мостового крану з урахуванням механічної характеристики приводного двигуна механізму горизонтального переміщення. Поставлене завдання вирішене за допомогою чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху мостового крана. Результати роботи проілюстровані графіками, що характеризують перехідний процес розгону мостового крана.

Кран, візок, динамічні навантаження, динамічна модель, математична модель, приведена маса, балка крана, оптимізація.

Постановка проблеми. При роботі металоконструкції мостового крана піддаються значним динамічним навантаженням.

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін**

© В.П. Лисенко, В.С. Ловейкін, В.В. Крушельницький, 2015

На різних етапах руху відбувається коливання моста крана, кінцевих балок, вантажу та інших вузлів і їх елементів, що входять до механічної системи. Слід відмітити перехідний процес розгону механізму переміщення моста. Цей процес супроводжується найбільшими значеннями динамічних навантажень, що на пряму впливає на швидкість виконаної операції, додаткової витрати електроенергії, надійності крана та у разі виникнення несправності призводить до додаткових матеріальних витрат на ремонт. Тому для подальших досліджень цих негативних факторів необхідно провести динамічний аналіз руху механічної системи.

Аналіз останніх досліджень. Автори роботи [1] досліджували поперечні коливання моста при його переміщенні з різними положеннями візка. Тут використана тримасова динамічна модель, для якої проілюстровані графіки перехідних процесів руху механічної системи. Також автори цієї роботи запропонували модальний регулятор [2], що дозволяє гасити пружні коливання як у лінійній моделі, так і в моделі з розподіленими параметрами. Для подальших досліджень використовувалася двомасова динамічна модель, в якій було прийнято, що візок нерухомо закріплений в середині балки. Спрощена модель дає змогу синтезувати регулятор стану для ефективного гасіння коливань конструкції моста в напрямку його руху. В роботі [3] досліджували коливання балки мостового крана. На основі рівняння Лагранжа другого роду побудована математична модель коливань балки зі змінною масою і навантаженням. Результатом є графіки зміни прогину балки в певні моменти часу.

Рівняння розв'язані чисельним методом. Автори роботи [4] запропонували математичну модель для дослідження параметрів коливань прогонових балок для різних положень візка та для ділянок прогонової балки по довжині прогону. При дослідженні враховано ударний імпульс.

В роботі [5] використовувалася тримасова динамічна модель, в якій прийняті припущення, що гнучка підвіска вантажу замінена пружним зв'язком з умовною горизонтальною жорсткістю та не враховано зазори в приводі. Сила опору пересуванню крана прийнята постійною, з'єднання головних і кінцевих балок розглядається як шарнірне, рушійне зусилля привода прийняте постійним та відсутнє буксування коліс. Розрахунок процесу розгону крана проводився чисельним методом Рунге-Кутта.

Мета досліджень полягає у проведенні динамічного аналізу руху мостового крана з урахуванням механічної характеристики електродвигуна механізму горизонтального переміщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: побудувати динамічну та математичну моделі, що описують

рух мостового крана; отримати залежності, що характеризують перехідний процес пуску крана; проаналізувати отримані результати;

Результати досліджень. Для проведення дослідження використано чотиримасову динамічну модель мостового крана (рис. 1):

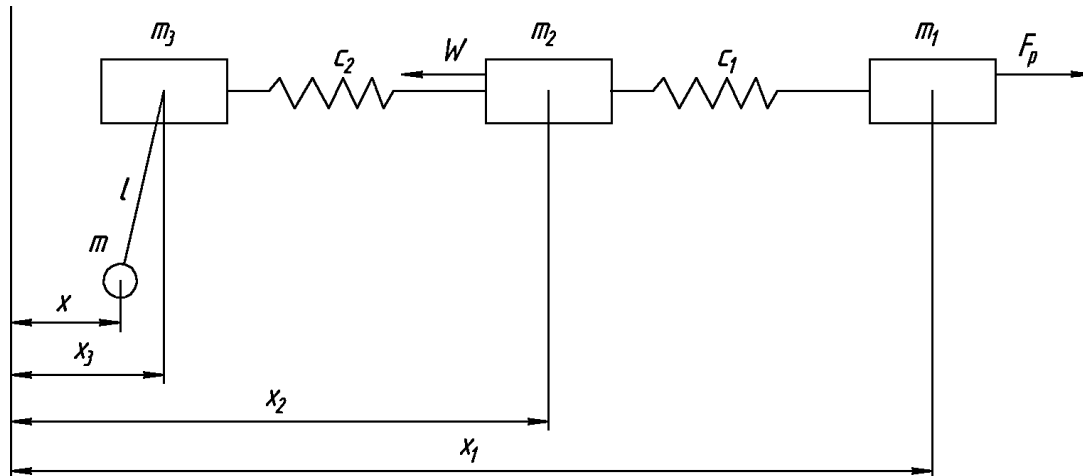


Рис. 1. Чотиримасова динамічна модель мостового крана.

На рис. 1 зображено приведені маси m , m_1 , m_2 , m_3 відповідно вантажу, привода, кінцевих балок та балки з крановим візком. Маса приводу з'єднана з приведеною масою кінцевих балок пружним елементом з жорсткістю c_1 . До маси приводу прикладене рушійне зусилля F_p . Маса кінцевих балок з'єднана з приведеною масою балки і крановим візком пружним елементом з жорсткістю c_2 . До маси кінцевих балок прикладена сила опору переміщення балки крана W . Приведена маса балки крана з візком з'єднана з вантажем гнучким елементом з довжиною l . В цій моделі x , x_1 , x_2 , x_3 узагальнені координати приведених мас вантажу, привода, кінцевих балок і балки з крановим візком відповідно.

Динамічна модель (рис. 1) описується наступною системою диференціальних рівнянь руху (крапка над символом означає диференціювання за часом):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) = F; \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1(x_1 - x_2) + c_2(x_2 - x_3) = -W \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_2(x_2 - x_3) + \frac{mg}{l}(x_3 - x) = 0; \\ \ddot{x} - \frac{g}{l}(x_3 - x) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Опір коченню ходового колеса по рельсу визначається за наступною формулою [6]:

$$W = k_p (m_1 + m_2) \left(f \frac{d}{2} + \mu \right) \frac{2}{D_k}, \quad (2)$$

де: m_1 – маса кінцевих балок з приводом; m_2 – маса балки крана і електроталі; f – коефіцієнт тертя в опорі ходового колеса; d – діаметр цапфи валу (осі) колеса; D_k – діаметр ходового колеса; μ – коефіцієнт тертя кочення; k_p – коефіцієнт додаткових опорів (визначається тертям реборд о головку рельсу і тертям елементів токоз'ємного пристрою).

Рушійна сила приведена до ходових коліс і розраховується за формулою:

$$F = M_{\partial\partial} \cdot i \cdot \eta_{nep} \frac{2}{D_k}, \quad (3)$$

де: $M_{\partial\partial}$ – пр крутний момент на валу двигуна; i – передаточне число приводного механізму; η_{nep} – коефіцієнт корисної дії приводу.

Крутний момент двигуна змінюється за формулою Клосса [7]:

$$M_{\partial\partial} = \frac{2M_{max}(1 + S_{kp})}{\frac{S_{kp}}{S} + \frac{S}{S_{kp}} + 2S_{kp}}. \quad (4)$$

Ковзання в двигуні:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega_{\partial}}{\omega_0}. \quad (5)$$

Кутова швидкість на валу електродвигуна:

$$\omega_{\partial} = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (6)$$

де: n_n – номінальна частота обертання валу двигуна.

Кутову швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (7)$$

де: f – частота напруги живлення двигуна; p – кількість пар полюсів електродвигуна.

Критичне ковзання в двигуні:

$$S_{kp} = S(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (8)$$

де: λ – перевантажувальний коефіцієнт двигуна.

Максимальний крутний момент двигуна:

$$M_{max} = M_{\partial\partial} \cdot \lambda. \quad (9)$$

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (1) виконано з використанням чисельного інтегрування з наступними розрахунковими даними:

$$\begin{aligned} k_p &= 1,1; \quad m = 3200 \text{ кг}; \quad m_1 = 200 \text{ кг}; \quad m_2 = 300 \text{ кг}; \quad m_3 = 670 \text{ кг}; \\ f &= 0,015; \quad d = 0,014 \text{ м}; \quad \mu = 0,003; \quad D_k = 0,2 \text{ м}; \quad i = 29; \quad \eta_{\text{пер}} = 0,88; \\ W &= 407,4 \text{ Н}; \quad n = 1400; \quad c_1 = 96 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; \quad c_2 = 69 \cdot 10^4 \text{ Н/м}; \\ \omega_d &= 146,33 \text{ рад/с}; \quad f = 50 \text{ Гц}; \quad p = 2; \quad \omega_0 = 157 \text{ рад/с}; \quad S = 0,068; \quad \lambda = 2,3; \\ S_{kp} &= 0,3; \quad M_{\text{max}} = 6,29 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad J_x = 7293 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

У результаті чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь (1), що описують рух мостового крану, отримані графіки, які наведені на рис. 2 – рис. 7.

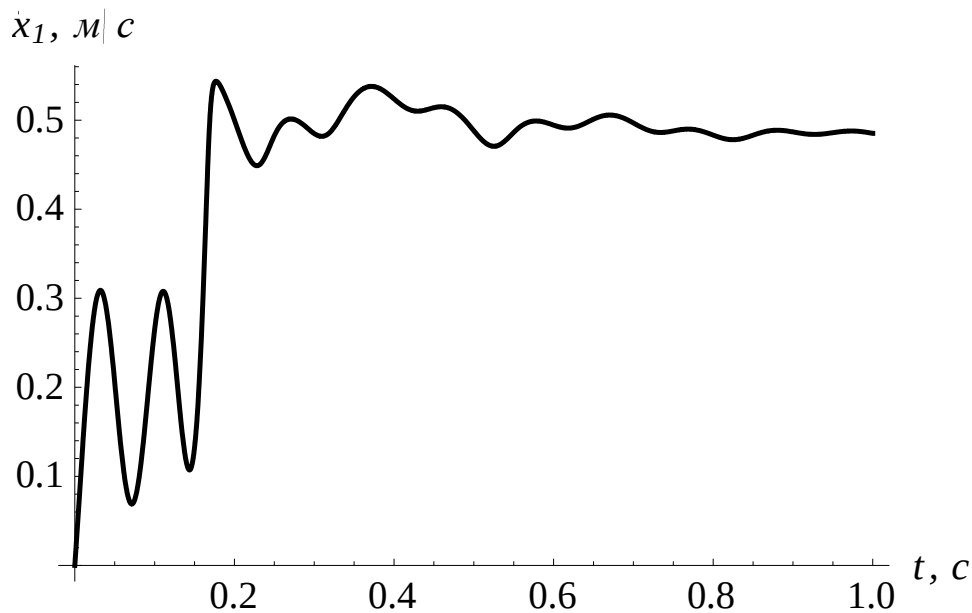


Рис. 2. Графік зміни швидкості привода.

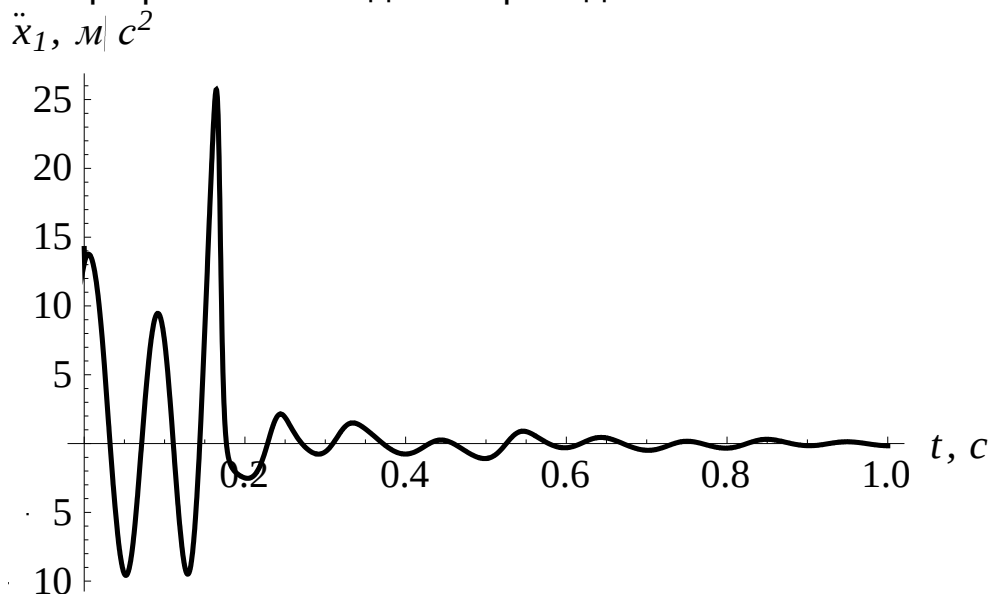


Рис. 3. Графік зміни прискорення привода.

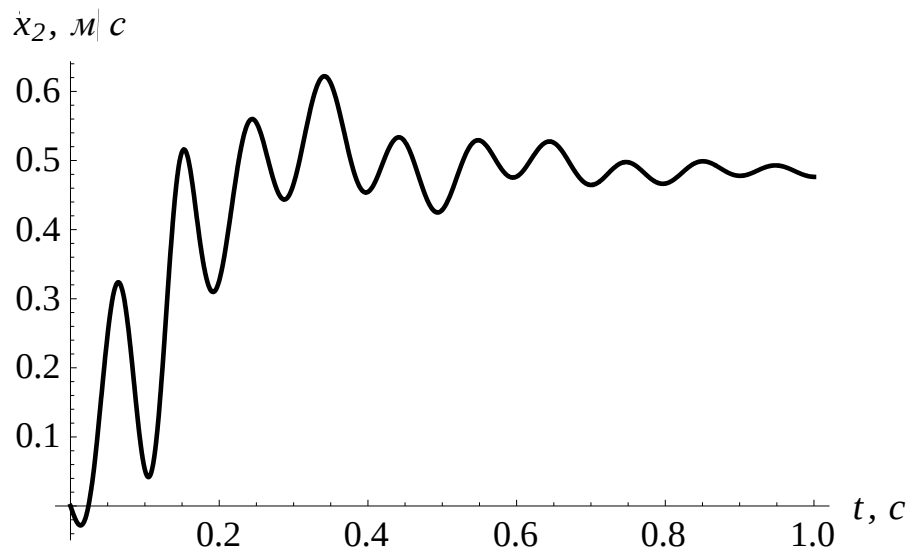


Рис. 4. Графік зміни швидкості кінцевих балок.

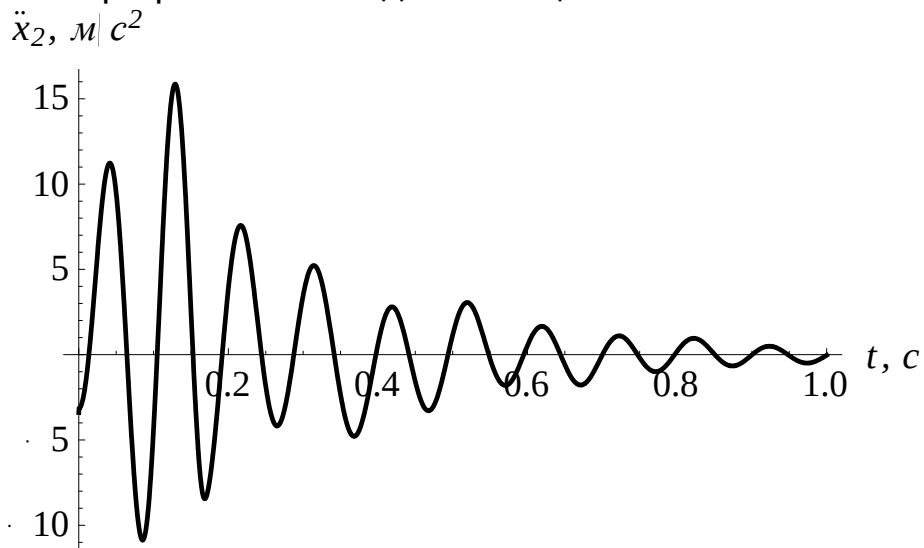


Рис. 5. Графік зміни прискорення кінцевих балок.

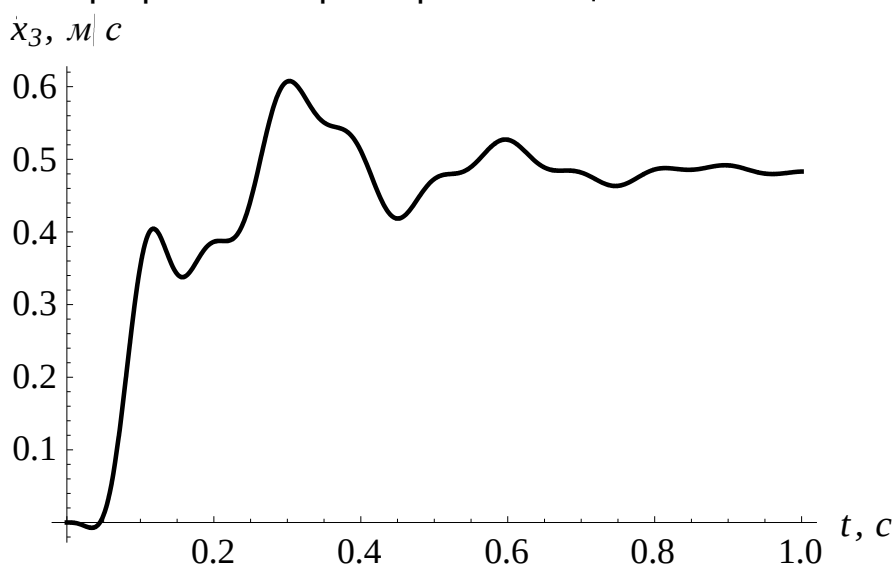


Рис. 6. Графік зміни швидкості мостової балки з крановим візком.

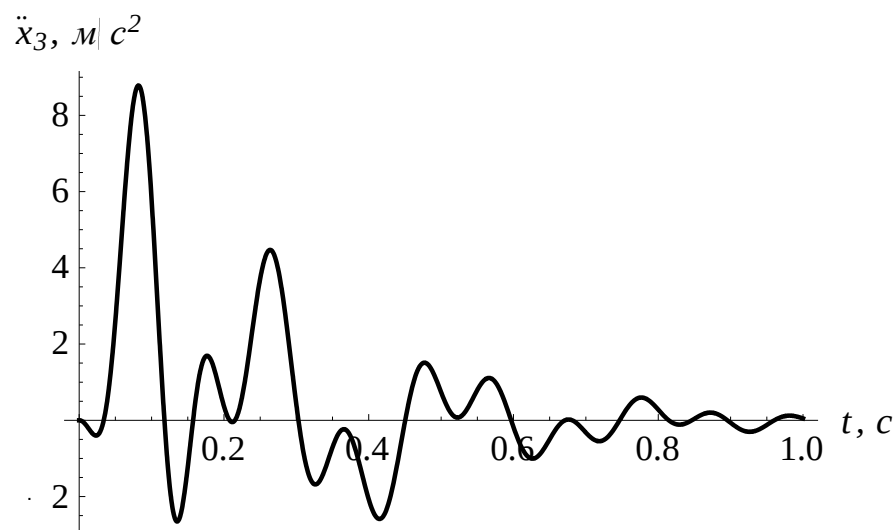


Рис. 7. Графік зміни прискорення мостової балки з крановим візком.

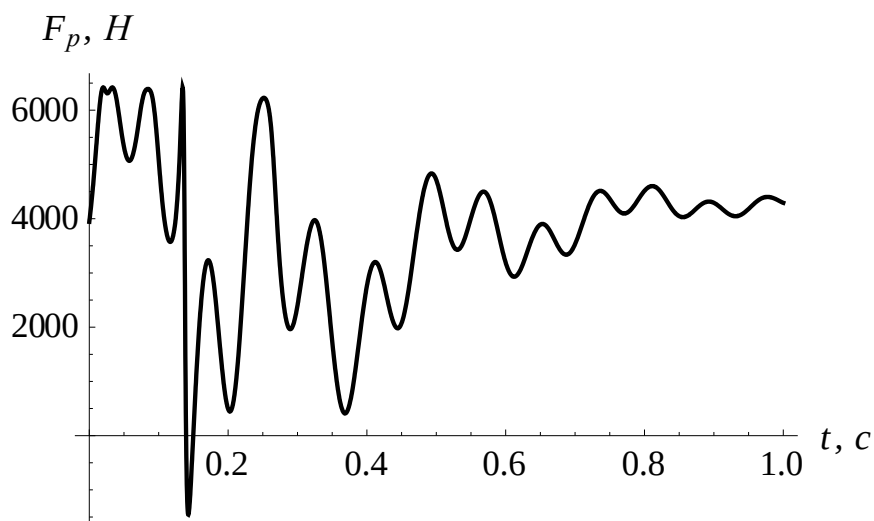


Рис. 8. Графік зміни рушійного зусилля крана.

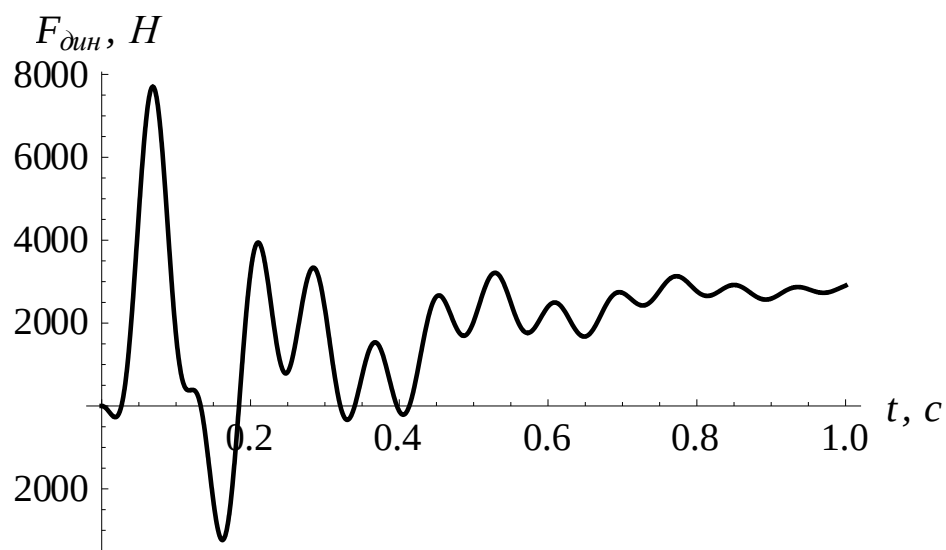


Рис. 9. Графік зміни пружного зусилля в мостовій балці крана.

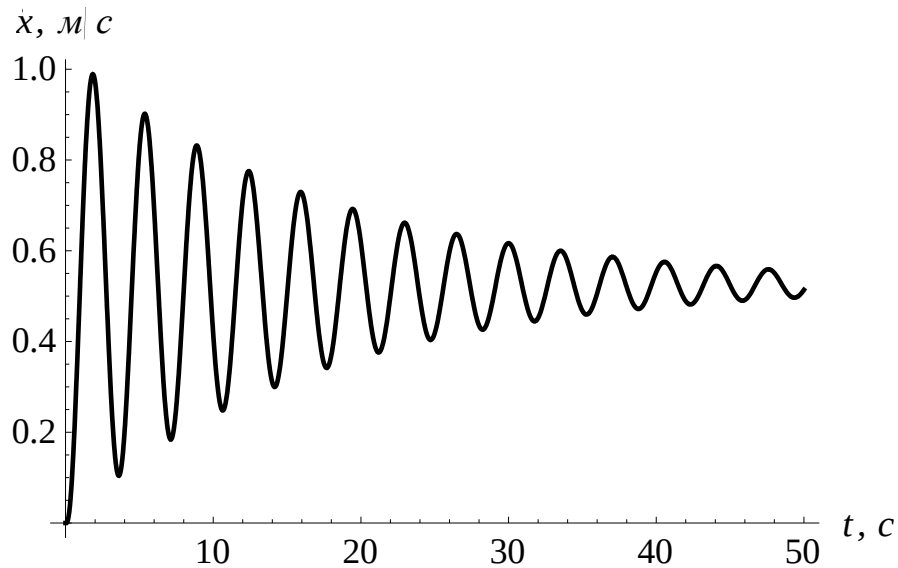


Рис. 10. Графік зміни швидкості вантажу.

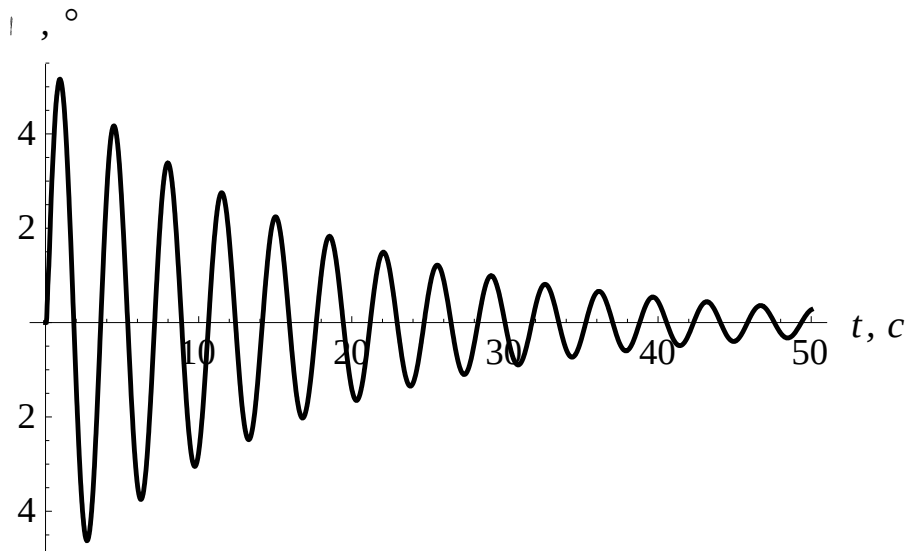


Рис. 11. Графік зміни кута відхилення вантажу відносно мостової балки.

Висновки

При розв'язку диференціальних рівнянь, що описують рух чотиримасової динамічної моделі отримані графіки перехідного процесу пуску мостового крана. Графіки на рис. 2 – рис. 7 відображають зміну швидкості і прискорення приведеної маси приводу, кінцевих балок, та мостової балки з візком при перехідному процесі пуску мостового крана. З графіків видно, що перехідний процес розгону супроводжується коливаннями швидкості та прискорення, однак при досягненні усталеної швидкості механізмом переміщення коливання плавно затухають. Перехідний процес супроводжується динамічними навантаженнями, що видно з рис. 8, рис. 9, які відображають зміну рушійного зусилля та пружного зусилля в мостовій балці. Також зусилля зумовлені дією електромагнітного моменту двигуна, який змінюється за рівнянням Клоса і є нелінійним. Також отримані графі-

ки швидкості коливання вантажу і відхилення його відносно центра мас балки з візком (рис. 10, рис. 11) звідки видно, що пікове значення коливання вантажу відбувається на початку пуску системи і становить більше 4° та має плавно затухаючий характер.

Усунути коливання елементів конструкції крана та вантажу, на початку руху можливо шляхом оптимізації перехідного процесу розгону/гальмування. Оптимізація перехідного процесу дасть змогу зменшити динамічні навантаження на металоконструкції мостового крана та покращить динамічні показники кранового механізму переміщення.

Список літератури

1. *Палис Ф.* Анализ поперечных колебаний мостового крана при изменении положения тележки / *Ф. Палис, О.И. Толочко, Д.В. Бажутин* // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. темат. вып.: Проблемы автоматизированного электропривода. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 36 (1009). – С. 36–39.
2. *Палис Ф.* Гашения горизонтальних упругих колебаний конструкции мостового крана / *Ф. Палис, О.И. Толочко, Д.В. Бажутин* // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Теорія і практика. Тематичний випуск. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – №3(19). – С. 336–339.
3. *Лопатина А.А.* Математическое моделирование колебаний балки мостового крана / *А.А. Лопатина* // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. – 369 с.
4. *Сагиров Ю.Г.* Колебания пролетных балок мостового крана / *Ю.Г. Сагиров, В.В. Суглобов* // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь: ПДТУ, 2008. – Вип. 10. – 347 с.
5. *Ахтулов А.Л.* Теоретическое исследование и моделирование процесса разгона грузоподъемного крана мостового типа / *А.Л. Ахтулов, О.М. Кирасиров, Е.В. Комерзан* // Омский научный вестник. – 2008. – Вып. 64. – 186 с.
6. *Гайдамака В.Ф.* Грузоподъемные машины / *В.Ф. Гайдамака*. – К.: Вища школа, 1989. – 328 с.
7. *Крицштейн А.М.* Электрические машины : методические указания / *А.М. Крицштейн*. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 51 с.

В работе проведен динамический анализ движения мостового крана с учетом механической характеристики приводного двигателя механизма горизонтального перемещения. Поставленная задача решена с помощью численного интегрирования дифференциальных уравнений движения мостового крана. Результаты работы проиллюстрированы графиками, характеризующие переходный процесс разгона мостового крана.

Кран, тележка, динамические нагрузки, динамическая модель, математическая модель, приведенная масса, балка крана, оптимизация.

The paper analyzes the dynamic movement of bridge crane with mechanical characteristics of mechanized drive motor horizontal displacement. The task solved by numerical integration differential equations of bridge crane motion. The results are illustrated graphs that characterize the transition process of overlocking overhead crane.

Crane, truck, dynamic loading, dynamic model, mathematical model, reduced weight, beam crane, optimization.

УДК 681.508

АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАНЬ ВАНТАЖОПІДЙОМНИМИ МАШИНАМИ

***С.Ф. Пилипака, В.С. Ловейкін, доктори технічних наук
П.В. Лимар, здобувач****

У статті проведений аналіз сучасних систем керування вантажопідйомних машин. Описано інтелектуальні алгоритми управління вантажопідйомними механізмами, засновані на рішенні оберненої задачі динаміки і застосуванні нечіткої логіки. Алгоритми керування знижують вимоги до кваліфікації операторів вантажопідйомних механізмів і дозволяють перенести "інтелект" навченого персоналу на системи управління.

Режим руху, датчик, керування краном, привід, зворотній зв'язок.

Постановка проблеми. Крани все частіше використовуються в транспорті і будівництві. Вони також стають більшими, швидшими і вищими, вимагаючи ефективного керування, щоб гарантувати швидке переміщення вантажу та задовольняти вимогам безпеки. Робочий рух при переміщенні кранового візка характеризується перехідними режимами роботи, тобто систематичними прискореннями та гальмуваннями. При таких короточасних змінах швидкості як в деталях механізмів, так і у вузлах металоконструкції виникають динамічні навантаження, які можна виявити за допомогою обраної розрахункової моделі.

В процесі роботи крана, візок з підвішеним на гнучкому підвісі вантажем здійснює постійні переміщення вздовж несучої ферми та консолей. Процес переміщення візка включає в себе розгін,

***Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін**

© С.Ф. Пилипака, В.С. Ловейкін, П.В. Лимар, 2015

переміщення з номінальною швидкістю та гальмування. Такі перехідні режими викликають значні динамічні навантаження в механізмі приводу візка і крана в цілому, що впливає на надійність і довговічність, а розгойдування вантажу на продуктивність і ергономічність роботи.

Також відомо [1], що при роботі кранів спостерігаються маятникові коливання вантажу, котрі викликають нерівномірний рух вантажопідйомних механізмів, вантажних візків, додаткові навантаження на силові елементи, створюють незручності при їх експлуатації, а також збільшують ризик виникнення аварійних ситуацій.

Мета досліджень. Основною метою даного дослідження є аналіз способів керування вантажопідйомними машинами при яких небажані явища (динамічні навантаження, коливання вантажу) будуть відсутні або матимуть мінімальний вплив, а бажані (надійність, робастність, продуктивність, ергономічність) покращені.

Результати досліджень. Підйомно-транспортні механізми застосовуються практично у всіх областях промисловості. Для транспортування вантажів в промисловості, на будівельних майданчиках, складах і в портах широко використовуються підйомні крани. Підйомні крани розрізняються по конфігурації робочої зони, виду переміщуваних вантажів і точності позиціонування. В залежності від вимог за даними характеристиками існують різні типи конструкцій кранів. Для переміщення важких вантажів частіше використовують порталні (козлові) крани. Конструкція порталного крана припускає наявність спеціального візка з прямолінійним рухом по напрямних рейках і троса, за допомогою якого корисний вантаж кріпиться до візка. Портальний кран може пересуватися по рейках, це дозволяє здійснити транспортування вантажу в будь-яку точку тривимірного простору в межах робочої зони крана. Портально-поворотні крани найчастіше застосовуються в портах для завантаження кораблів, а також в якості навантажувальних кранів на залізницях. Переваги портално-поворотного крана полягають у відносно великій робочій зоні при меншій займаній площі. Поворотні баштові крани характеризуються значною висотою і найчастіше застосовуються в таких умовах, коли вантаж повинен головним чином переміщатися вертикально.

Системи керування підйомно-транспортними механізмами зазвичай є багатозадачними. Вони повинні бути робастними, швидкодіючими, точними, і за своєю суттю замінювати дії навченого персоналу, тобто вони повинні володіти "інтелектом". Система управління повинна переміщувати вантаж з максимально можливою швидкістю, під час транспортування мінімізувати коливання вантажу і повністю гасити їх в місці зупинки. Також мають бути враховані можливі зміни параметрів системи, таких як довжина каната і вага вантажу. При

розробці алгоритмів керування повинні враховуватися і питання практичної реалізації: потужність керуючого впливу, максимальні прискорення і швидкості тощо. Для виключення можливості зіткнень з перешкодами вантаж не повинен виходити при транспортуванні за межі заданого коридору.

Система керування процесом переміщення вантажу може бути як розімкнутою, так і замкнутою. Розімкнуте управління характеризується більшою чутливістю до змін параметрів і збурень. При створенні замкнутої системи управління виникає необхідність у відповідних датчиках. Інформацію про положення і швидкість візка зазвичай отримують з системи керування електроприводом візка. Складніше отримати інформацію про кут відхилення вантажу. Можна використовувати датчик технічного зору, проте недоліками відеосистеми є складність обслуговування та висока вартість [2]. При відомій довжині каната оцінити кут відхилення можна по електромагнітному оберտальному моменту і кутовій швидкості двигуна візка, іншими словами в структуру системи управління необхідно включити спостерігач динамічного навантаження.

Взаємодія між механізмом руху і підвішеним вантажем призводить до розгойдування останнього. Якщо амплітуда коливань перевищує задану межу, вони повинні згасати або повинна бути зупинена операція, поки коливання не припиняться. У будь-якому випадку це призведе до погіршення швидкодії системи. Ці проблеми змусили багатьох дослідників розробити алгоритми управління, що дозволяють автоматизувати операції підйомного крана. Однак більшість існуючих схем не є придатними для практичного застосування. Тому велика кількість промислових підйомних кранів не автоматизовано і все ще залежить від дій людини. При цьому забезпечити належну компенсацію коливань може тільки висококваліфікований оператор (кранівник).

Існують різні способи управління підйомним краном, засновані як на розімкнутій системі, так і на системі управління зі зворотним зв'язком. Автоматизацію підйомного крана можна розділити на два підходи. У першому підході оператор зберігається в ланцюзі керування, а сили, що переміщують вантаж, певним чином змінюються, щоб полегшити роботу оператора. Один із способів полягає у керуванні демпфером із зворотнім зв'язком кута відхилення вантажу і його кутової швидкості або зворотній зв'язок затримки кута відхилення [3, 4]. Такий зворотний зв'язок передбачає додаткову траєкторію руху, яка передбачена роботою оператора. Наступний спосіб полягає у встановленні механічного демпфера в конструкцію крана [5]. Реалізація цього методу передбачає витрати значної кількості енергії, що робить його непрактичним.

У другому підході, робота оператора виключається і операція повністю автоматизована. Це можна реалізувати кількома методами. Перший спосіб заснований на проходженні траєкторії переміщення вантажу до місця призначення з мінімальними коливаннями. Ця траєкторія формується оптимальними методами управління. Другий спосіб заснований на зворотному зв'язку положення візка і кута відхилення. Третій спосіб заснований на конструкції контролера з двох частин: з контролера, що усуває коливання і контролера стеження за положенням візка. Кожен з них працює окремо, а потім об'єднуються для забезпечення продуктивності і стабільності системи в цілому.

Застосування як оптимальної за часом розімкнутої системи управління підйомним краном [6], так і розімкнутої системи управління, в якій вхідний сигнал формується таким чином, щоб при переміщенні візка в заданне положення не викликати надмірних коливань вантажу [7], дає погані результати, оскільки управління без зворотного зв'язку чутливо до зміни параметрів системи (наприклад, довжини каната) і не може компенсувати вплив вітру. Ці методи також не дозволяють уникнути залишкових коливань вантажу.

Управління зі зворотним зв'язком, як відомо, менш чутливе до змін параметрів і збурень. Тому в більшості досліджень останніх років запропоновано алгоритми замкнутого управління: від звичайного ПІД-регулятора (пропорційно інтегрально-диференціального регулятора) до інтелектуальних підходів. Зокрема, Омар запропонував ПД-регулятори (пропорційно-диференціальні регулятори) як для позиціонування, так і для усунення коливань [8]. Однак відомо, що керування з використанням ПД-регулятора не ефективно в усуненні статичної помилки. Тому також був запропонований і ПІД-регулятор для управління системою порталного крана [9]. Однак робота регулятора погіршується, коли відбувається насичення силового приводу.

Для побудови традиційних регуляторів необхідно мати "точну" математичну модель об'єкта управління, а потім синтезувати регулятор, який реалізує необхідний алгоритм управління. Так як математичний опис підйомного крана являє собою систему нелінійних нестационарних диференціальних рівнянь, виконати синтез регулятора аналітичним шляхом складно, це завдання може бути вирішене тільки для малих кутів відхилення вантажу шляхом лінеаризації відповідних рівнянь і "заморожування" їх коефіцієнтів. Для систем такого типу переважно використання нетрадиційних регуляторів. Як відомо, для управління складними процесами, коли не існує простий математичної моделі, можна використовувати системи з нечітким керуванням. В [2] описана система, в якій застосували апарат нечіткої логіки як до пристрою керування положенням візка, так і до дем-

пфірування коливань. Розглянуті вище способи управління призвели б до доброї роботи за умови використання точної моделі та її параметрів у регуляторі.

Однак відомо, що моделювання є складним і трудомістким процесом. Крім того, потрібна ідентифікація тих параметрів підйомного крана, які неможливо виміряти. Ідентифікація параметрів – це теж складний і трудомісткий процес. Крім того, передові регулятори мають тенденцію бути все більш складними і, відповідно, проблемними з точки зору їх реалізації в масштабі реального часу. Дуже часто налаштовувати такі регулятори повинні інженери, які не мають досвіду в роботі з подібними системами управління. Отже, проста конструкція і структура регулятора дуже важливі з практичної точки зору. Недоліком замкнутих систем є потреба в датчиках положення візка і кута відхилення вантажу. Крім того, створення датчика вимірювання коливань в реальній системі порталного крана не є легким завданням, оскільки є підйомний механізм на паралельному гнучкому підвісі. У деяких дослідженнях зосередилися на схемах управління з відеосистемою, яка на практиці знайшла більше застосування з огляду на те, що не потрібно розташовувати датчик на стороні вантажу. Недоліками управління зі зворотним зв'язком на основі CCD-камери (датчика технічного зору) є складність обслуговування та висока вартість.

У розглянутих випадках доцільним представляється використання методики, заснованої на вимірюванні електромагнітного обертового моменту, кутової швидкості двигуна та застосуванні спостерігача динамічного навантаження [10]. Цей метод дозволяє оцінити кут відхилення вантажу за доступною з силового приводу інформації і не вимагає застосування дорогих і технічно складних датчиків. Завдання запобігання виникнення коливань вантажу в підйомно-транспортних механізмах може вирішуватися двома шляхами. Перший шлях полягає в демпфіруванні коливань замкнутою системою управління з використанням вимірювальних або оцінюючих пристроїв кутової швидкості та/або кута підвісу. Другий шлях полягає у недопущенні коливань шляхом установки в ланцюг розімкнутого управління формуючих фільтрів (шейпінг-фільтрів), налаштованих на частоту коливань вантажу.

Замкнута система управління гасить всі коливання вантажу, у тому числі від вітрових та інших збурень, але має на потребує установки спеціальних датчиків. Розімкнуте управління з формуючим фільтром в принципі не може гасити ніяких коливань, воно лише дозволяє зменшити ефект збудження коливань в процесі управління, ніяких додаткових датчиків при цьому не вимагається. Найбільшого поширення в системі без зворотного зв'язку по куту відхилення ван-

тажу отримали шейпінг-регулятори (shaping control, shaper). Алгоритм їх роботи заснований на тимчасовому перерозподілі силового впливу на візок на етапах розгону і гальмування при збереженні незмінної величини сумарного впливу. За рахунок подовження перехідного режиму руху тельфера або візка з однієї швидкості на іншу забезпечується накладення коливань вантажу, при цьому зрушення керуючого впливу на період та / або півперіод обчислених коливань вантажу забезпечує в ідеальному випадку повне їх згасання.

Існує безліч різновидів шейпінг-алгоритмів. Найбільш поширені: ZV-shaper (Zero-Vibration shaper), ZVD-shaper (Zero-Vibration and Derivative shaper), ZVDDshaper (Zero-Vibration and Derivative-Derivative shaper), ZVDDD-shaper (Zero-Vibration and Derivative-Derivative-Derivative shaper), різновиди з одною, двома і трьома кривими – EI-shaper (Extra-Insensitive shaper), інверсний в порівнянні з EI – SI-shaper (Specified-Insensitivity shaper).

Аналіз різних алгоритмів керування підйомно-транспортними механізмами дозволяє зробити наступні висновки. Шейпінг-фільтри призводять до зменшення амплітуди коливань значно швидше, ніж стандартні фільтри [11]. Шейпінг-фільтри мають тривалість коливань в межах від 0,7 до 2,0 періодів, а стандартні фільтри: від одного до більш ніж 10 періодів коливань. Більшість фільтрів має показник 3 періоди і більше. Шейпінг-фільтри володіють великою швидкодією в порівнянні з традиційними цифровими фільтрами, це пояснюється особливостями їх побудови і початковою (на відміну від стандартних фільтрів) спрямованістю на вирішення розглянутих завдань.

Незважаючи на те, що сьогодні найбільш поширеним способом гасіння коливань вантажу при відсутності будь-якої інформації про кут його відхилення є шейпінг-управління, цей метод має ряд недоліків: складно врахувати обмеження електроприводів вантажопідйомних механізмів щодо прискорення, а дискретний характер накладення коливань призводить до необхідності різкої зміни швидкості, що несприятливо позначається на силовій частині. Застосування ж задавання інтенсивності вхідного сигналу призводить до збільшення часу реакції системи, а згладжування заданої швидкості на виході шейпінг-фільтра погіршує його якісні показники.

Для розрахунку розімкнутих систем зазвичай задаються бажаним законом зміни вихідних координат крана і перераховують їх у вхідні координати. Такий перерахунок є вирішенням оберненої задачі динаміки математичної моделі крана і може розглядатися як універсальна основа для обчислення сигналу формування фільтра. Рішення зворотної задачі динаміки для обчислення сигналу управління може бути замінено замкнутою схемою, що складається з одиниці в прямому колі і моделі об'єкта управління з ідеальним регуля-

тором в колі зворотного зв'язку. Така схема дозволяє вирішувати задачу в реальному часі за допомогою рекурсивного фільтра, що відображає бажані динамічні властивості крана з регулятором. Описаний алгоритм незмінно дає результат у вигляді режекторного фільтра, налаштованого на частоту коливань вантажу.

До підйомно-транспортних механізмів пред'являються різні вимоги в залежності від їх типу та призначення. Для кожного конкретного випадку потрібне відповідне налаштування системи керування, при цьому слід враховувати вимоги по швидкодії, точності позиціонування і амплітуді допустимих коливань. У деяких випадках визначальним є не якість згасання коливань, а довговічність механізмів. У такій ситуації першочерговим стає завдання мінімізації зносу силових елементів в процесі управління і, як наслідок, виникають обмеження на реверс двигуна, що часто потрібно для більш якісного гасіння коливань вантажу.

Ефективним в цьому випадку є застосування управління з нечіткою логікою функціонування (fuzzy-control), оскільки в системі з нечіткою логікою управління можливо врахувати сукупність великої кількості суперечливих факторів, що впливають як на точність позиціонування, так і на ступінь зносу елементів системи: виникають у процесі переміщення коливання вантажу і несучих частин підйомно-транспортних механізмів (баштових та козлових кранів), швидкість вітру і його пориви (актуально для будівельних кранів), що змінюється маса вантажу (при неможливості її точного вимірювання).

Використання нечіткої логіки для усунення коливань вантажу на гнучкому підвісі запропоновано в роботі [12]. Тут розглядається двомасова коливальна система, в якій побудовано алгоритм керування з двома умовами. По-перше, якщо маса вантажу відхиляється від вертикалі з деякою швидкістю, то до маси візка необхідно прикласти силу, яка буде рухати цю масу в тому ж напрямку і приблизно з тією ж швидкістю. По-друге, якщо маса вантажу відхилена на деякий кут і її швидкість близька до нуля, то до маси візка необхідно в тому ж напрямку прикласти зусилля, яке б давало масі візка приблизно таке ж прискорення.

Застосування системи з нечіткою логікою функціонування робить можливим налаштування коефіцієнтів системи управління виходячи з комплексного критерію, що дозволяє з мінімальними витратами пристосувати алгоритм управління до конкретного випадку.

Висновки

Порівняння шейпінг-управління з розробленими алгоритмами дозволяє зробити висновок, що шейпінг-фільтри не настільки ефективні для формування керуючого впливу в порівнянні з безперервними регуляторами. Розроблені алгоритми мають істотні переваги

роботи: вимагають менше часу і забезпечують низький рівень залишкових коливань. Якість їх роботи визначається точністю ідентифікації частоти коливань вантажу (при наявності навіть зашумленої інформації про який-небудь параметр, пов'язаний з частотою коливань).

При відсутності будь-якої інформації система може бути реалізована тільки із застосуванням формуючого фільтра. Однак до його побудови слід підходити шляхом перетворення розробленого регулятора для замкнутої системи. У цьому випадку якість роботи регулятора буде залежати від точності відповідності моделі реальному об'єкту управління, і відповідно виникає питання забезпечення двох суперечливих вимог: високої швидкодії і слабкої чутливості до зміни параметрів об'єкта управління.

Застосування системи з нечіткою логікою функціонування дозволяє шляхом моделювання процесу мислення людини (процедури прийняття ним рішення) здійснювати настройку коефіцієнтів системи управління виходячи з комплексного критерію: з урахуванням часу переміщення, точності позиціонування, ступеня згасання коливань, ступеня зносу силових елементів, обмежень на реверс двигуна при переході з однієї швидкості на іншу та іншого. Застосування нечіткої логіки дозволяє скоротити терміни проектування інтелектуальних систем і робить можливим компонентне (модульне) проектування.

Список літератури

1. Лобов Н.А. Динамика грузоподъёмных кранов / Н.А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Kim Y.S. A new visionless anti-sway control system for container cranes / Kim Y.S., Yoshihara H., Fujioka N., Kasahara H., Shim H., Sul S.K. // Industry Applications Conference. 2003. Vol. I. P. 262–269.
3. Henry, R.J., 2001, "Cargo pendulation reduction on ship-mounted cranes via boom-luff angle actuation" / Masoud, Z.N., Nayfeh, A.H., Henry, R.J., and Mook D.T. // Journal of Vibration and Control 7, P. 1253–1264.
4. Masoud, Z.N. Sway reduction on container cranes using delayed feedback controller / Masoud, Z.N., Nayfeh, A.H., Henry, R.J., and Mook D.T. // In Proceedings of the 43rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Denver, CO, 2002. AIAA-2002-1279.
5. Balachandran, B., Lee, Y.Y., and Fang, C.C., 1999, "A mechanical filter concept for control of non-linear crane-load oscillation," Journal of Sound and Vibration 228(3), P. 651–682.
6. Manson G.A. Time-optimal control of an overhead crane model / G.A. Manson // Optimal Control Applications & Methods. 1982. Vol. 3. No. 2. P. 115–120.
7. Auernig J.W. Time optimal control of overhead cranes with hoisting of the load / Auernig J.W., Troger H. // Automatica. 1987. Vol. 23. No. 4. P. 437–447.
8. Ridout A.J. Anti-swing control of the overhead crane using linear feedback / Ridout A.J. // Journal of Electrical and Electronics Engineering. 1989. Vol. 9. No. 1/2. P. 17–26.

9. Omar H.M. Control of gantry and tower cranes. PhD Dissertation. / Omar H.M. // Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 2003.
10. Хаджинов М.К. Система управления подъемным краном на базе квази-модального регулятора с функцией подавления колебаний перемещаемого груза / М.К. Хаджинов, А.С. Шмарловский // Доклады БГУИР. – Минск. – № 7. – 2009. – С. 38–43.
11. Singer N. Comparison of Filtering Methods for Reducing Residual Vibration / Singer N., Singhose W., Seering W. // European Journal of Control. – 1999. – № 5. – P. 208–218.
12. Терехов В.М. Системы управления электроприводов : учебник / В.М. Терехов, О.И. Осипов ; под ред. Терехова В.М. – Саратов: Изд. центр „Академия”, 2005. – 300 с.

В статье проведен анализ современных систем управления грузоподъемных машин. Описаны интеллектуальные алгоритмы управления грузоподъемными механизмами, основанные на решении обратной задачи динамики и применении нечеткой логики. Алгоритмы управления снижают требования к квалификации операторов грузоподъемных механизмов и позволяют перенести "интеллект" обученного персонала в систему управления.

Режим движения, датчик, управление краном, привод, обратная связь

The paper analyzes modern control systems of load machines. Described intelligent control algorithms lifting devices, based on the solution of dynamics inverse problem and application of fuzzy logic. Control algorithms reduce the qualifications of lifting mechanisms operators and can move "intelligence" of trained personnel in the control system.

Mode of motion, sensor, control crane, drive, feedback.

УДК 629.631.554

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ ПЕРЕВАЛОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**С.Г. Фришев, доктор технічних наук
Л.О. Чорна, студентка**

Пропонується методика визначення раціональних параметрів удосконаленої перевалочної технології для цукрових буряків.

Цукрові буряки, збирання, транспортування, ефективність, продуктивність.

© С.Г. Фришев, Л.О. Чорна, 2015

Постановка проблеми. Важливим напрямком підвищення ефективності збирально-транспортних процесів для цукрових буряків є застосування потужних збиральних комбайнів з великою місткістю бункерів в поєднанні з великовантажними транспортними засобами та потужною навантажувально-очисною технікою. Цей напрямок необхідно розглядати в тісному взаємозв'язку з проблемою ущільнення ґрунту під час транспортування коренеплодів з поля.

Саме про такий напрямок свідчить зарубіжний досвід господарств з великим обсягом виробництва [1], де набуває широкого розповсюдження перевалочна технологія, яка удосконалена застосуванням спеціалізованих великовантажних причепів-перевантажувачів та високопродуктивних навантажувачів-очисників.

Тому актуальна розробка методики обґрунтування раціональних параметрів удосконаленої перевалочної технології для цукрових буряків.

Аналіз останніх досліджень. Вперше в Україні перевантажувальний варіант перевалочної технології для збирання цукрових буряків в 70-х роках минулого століття був запропонований у Всесоюзному НДІ цукрових буряків (м. Київ), але впровадження у виробництво удосконаленого варіанту технології не відбулося у зв'язку з недостатньо високим технічним рівнем розробки як причепів так і збиральних комбайнів. В останній час у країнах ЄС, коли з'явилися більш досконалі БК з бункерами великої місткості – 40 м³ (комбайни фірми Ropa, Vervaet Beet Eater 625 та інші) та причепи Ruw Hawe місткістю 40 м³ з трактором Джон Дір 8400 (Німеччина) та ін. відбувається удосконалення перевалочної технології.

Дослідження удосконаленої потокової технології [1] з включенням в склад збирально-транспортного комплексу (ЗТК) причепа-перевантажувача показали певні її переваги в порівнянні із загальноприйнятою технологією в господарствах України. В той же час така технологія залишає два суттєвих недоліки:

- для безперервної роботи бурякозбиральних комбайнів (БК) з урахуванням великої відстані перевезення потрібна одночасно значна кількість АТЗ, що не завжди може забезпечити господарство.
- з полів вивозиться з коренеплодами близько 3% і більше (від маси буряків) родючого шару ґрунту [2].

Як показує досвід країн ЄС, удосконалення перевалочної технології шляхом застосування потужних збиральних комбайнів з великою місткістю бункерів, на перевезенні від БК до кагатів (на краю поля) спеціалізованого тракторного перевантажувального причепа (ТПП), а також потужного навантажувача-очищувача у значному ступені ліквідує вказані недоліки.

Метою досліджень є підвищення ефективності перевалочної технології для цукрових буряків шляхом розробки методики обґрунтування раціональних її параметрів.

Результати досліджень. Важливою перевагою спеціалізованих ТПП перед іншими транспортними засобами (ТЗ) являється зменшена ступінь впливу на ґрунт. Якщо у звичайних тракторних причепів або АТЗ питомий тиск в декілька разів перевищує допустиму норму, то у спеціалізованих ТПП, завдяки широко профільним шинам, цей показник близький до нормального.

Удосконалений збирально-транспортний перевалочний технологічний процес полягає в наступному. Група з 3-4-х БК працює в одному полі, але кожний у своїй загінці [3], при цьому гичка подрібнюється та розкидається як органічне добриво. За групою БК закріплюється група ТПП. Трактор з причепом під час завершення заповнення бункера комбайна під'їжджає до нього, і на ходу завантажуються коренеплодами, а потім переїжджає на край поля до кагатів, де розвантажуються та повертається до БК. За допомогою навантажувача-очищувача коренеплоди з одночасним очищенням від ґрунту завантажуються у великовантажні АТЗ і перевозяться до приймального пункту цукрового заводу. Для визначення робочих параметрів технологічних ланок в інженерній практиці найбільш поширені детерміновані розрахункові моделі з використанням аналітичних залежностей. Кількість комбайнів, що необхідні для збирання урожаю з площі S , га при урожайності зерна U , т/га, знаходиться за формулою:

$$m_K = CEILING \frac{S \cdot U}{W_K T_{3M} K_{3M} D_P}, \text{ од.}, \quad (1)$$

де: $CEILING$ – функція, яка повертає найближче більшає ціле значення;

K_{3M} – коефіцієнт змінності ($K_{3M} = 3$), який показує кількість змін ($T_{3M}=8$ год.), що працює комбайн за добу;

D_P – кількість робочих днів для збирання зерна за агровимогами - 30 робочих днів – за умовами погоди з 35 календарних днів (з 20 вересня по 25 жовтня) [4].

Продуктивність БК за годину змінного часу дорівнює

$$W_K = W_{KP} \tau, \text{ т/год.}, \quad (2)$$

де W_{KP} – продуктивність БК за годину робочого (основного) часу;

τ – коефіцієнт використання часу зміни, визначається як

$$\tau = \delta_{3M} \tau_{Ц} = \delta_{3M} \varphi = 0,81; \quad (3)$$

δ_{3M} – коефіцієнт циклового часу зміни, приймається 0,9 [5];

$\tau_{Ц}$ – коефіцієнт використання циклового часу зміни дорівнює коефіцієнту робочих ходів, середня величина якого за даними літератури прийнята як $\varphi = 0,9$ [5, 6].

Продуктивність БК за годину робочого (основного) часу знаходиться як

$$W_{\text{кр}} = 0,1B_p v_p U, \text{ т/год.}, \quad (4)$$

де: B_p – робоча ширина захвату БК, м; v_p – робоча швидкість БК, км/год; U – урожайність, т/га.

Робоча швидкість руху комбайна v_p обумовлюється урожайністю коренеплодів. Для бурякозбиральних комбайнів виробництва провідних європейських фірм орієнтовно можна прийняти такі швидкості руху (табл. 1) [4].

1. Робоча швидкість БК.

Урожайність коренеплодів, т/га	Робоча швидкість руху комбайна, км/год.
30-50	11-8
50-70	8-6
70-90	6-5

Умовою потокової роботи першої ланки ЗТК «БК – ТПП» є рівність [7]:

$$R_m = I_{\Pi}, \quad (5)$$

де R_m – ритм роботи групи комбайнів:

$$R_m = \frac{T_{\text{цк}}}{m_K}, \text{ год.}, \quad (6)$$

$T_{\text{цк}}$ – тривалість робочого циклу БК; m_K – кількість БК в групі;

I_{Π} – інтервал надходження ТПП до місця взаємодії з комбайном:

$$I_{\Pi} = \frac{T_{\text{цп}}}{n_{\Pi}}, \text{ год.}, \quad (7)$$

де $T_{\text{цп}}$ – тривалість робочого циклу ТПП;

n_{Π} – кількість ТПП для обслуговування групи комбайнів.

З урахуванням (6-7) з рівняння (5) отримаємо

$$n_{\Pi} = \frac{m_K T_{\text{цп}}}{T_{\text{цк}}}, \text{ од.} \quad (8)$$

Доцільно, щоби вантажопідйомність ТПП дорівнювала вантажопідйомності бункера БК, тобто:

$$q_{\Pi} = q_B, \quad (9)$$

Ритм роботи одного комбайна дорівнює тривалості робочого циклу БК - $T_{\text{цк}}$, який в свою чергу містить час завантаження бункера t_B та тривалість холостих ходів на поворотах t_X , що припадає на 1 цикл роботи комбайна, і визначається як [4]:

$$R_1 = T_{\text{цк}} = t_B + t_X = 1,1t_B. \quad (10)$$

Тривалість робочого циклу ТПП $T_{\text{цп}}$ складається з наступних складових: $t_{\text{зав}}$ – час завантаження ТПП з бункера БК, $t_{\text{рух}}$ – час руху по полю за 1 оборот для розвантаження та назад до БК, $t_{\text{роз}}$ – час розвантаження в кагати та $t_{\text{оч}}$ – час очікування на завантаження, і подана у вигляді рівняння:

$$T_{\text{цп}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{рух}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{оч}}, \quad (11)$$

де: $t_{\text{зав}} = \frac{q_B}{W_{\text{ПК}}}$, год;

q_B – вантажопідйомність бункера БК – максимальна маса буряка, яка міститься у ньому, т:

$$q_B = V_H d_B,$$

V_H – місткість бункера, м³;

d_B – об'ємна маса буряків, т/м³;

$W_{\text{ПК}}$ – продуктивність вивантажувального транспортера БК, т/год.

Тривалість руху ТПП за один його оборот, за даними експериментальних досліджень [8–9] $t_{\text{рух}} = 0,09$ год.

Тривалість розвантаження коренеплодів з ТПП в кагати знаходиться як

$$t_{\text{роз}} = \frac{q_B}{W_{\text{П}}}, \text{ год.}$$

де: $W_{\text{П}}$ – продуктивність вивантажувального транспортера ТПП, т/год.

Після підстановки в (8) всіх значень його складових отримаємо кількість ТПП для обслуговування групи комбайнів як:

$$n_{\text{П}} = \text{CEILING } 0,9 m_K W_{\text{КР}} \left(\frac{1}{W_{\text{ПК}}} + \frac{1}{W_{\text{П}}} + \frac{0,09}{q_B} \right), \text{ од.} \quad (12)$$

Кількість АТЗ, яка необхідна для безперервної роботи навантажувача-очищувача (НО). знаходиться з умови ритмічної роботи другої ланки «ТПП – АТЗ», де маємо:

$$R_2 = I_2, \quad (13)$$

де: R_2 – ритм роботи одного НО дорівнює тривалості часу $T_{\text{НО}}$ його циклу:

$$R_2 = T_{\text{НО}} = \frac{q_A}{W_H \tau_H}, \quad (14)$$

де: $W_{\text{НО}}$ – продуктивність НО, т/год;

τ_H – коефіцієнт використання робочого часу зміни НО; при належній організації робіт $\tau_H = 0,8$ [10].

q_A – вантажопідйомність АТЗ, т, яка визначається з виразу:

$$q_A \geq q_B \quad (15)$$

I_2 – інтервал надходження АТЗ:

$$I_2 = \frac{T_{цА}}{n_A} = \frac{1,23 \left(\frac{K_M \cdot q_A}{W_{HO}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{ABIB} \right)}{n_A}, \quad (16)$$

де: n_A – кількість транспортних засобів у групі;

$T_{цА}$ – тривалість обороту одного АТЗ;

K_M – коефіцієнт, який ураховує витрати часу АТЗ на маневрування [5] ($K_M=1,5$);

l_{ij} – віддаль перевезення, км;

v_T – середня технічна швидкість руху АТЗ, км/год;

t_{ABIB} – тривалість вивантаження буряків на приймальному пункті.

Після підстановки в (13) всіх значень його складових отримаємо кількість АТЗ для обслуговування НО як:

$$n_A = \text{CEILING} \frac{1,23 W_{HO} \tau_H \left(\frac{K_M \cdot q_A}{\tau_H W_{HO}} + \frac{2l_{ij}}{v_T} + t_{ABIB} \right)}{q_A}, \text{ од.} \quad (17)$$

Можливість зменшення кількості АТЗ, які одночасно застосовуються, визначається зміною коефіцієнта використання робочого часу зміни НО.

Як показують дослідження для зернового виробництва [1], застосування ТПП як компенсатора, дозволяє виключити простой АТЗ, які сягають при прямих перевезеннях 36%. Природно, що такі ж показники трансформуються і у ЗТК для цукрових буряків.

Приклад розрахунку. Цукровий буряк збирається комбайнами Рора Euro Tiger (9 рядний) з місткістю бункера 40 м^3 (25,6 т) і продуктивністю транспортера на вивантаженні буряків з бункера $W_{ПК} = 720 \text{ т/год}$, та перевозиться на край поля в кагати тракторним причепом-перевантажувачем Наве Ruw з вантажністю $q_{П} = 26 \text{ т}$ і продуктивністю вивантажувального транспортера $W_{П} = 850 \text{ т/год}$. З кагатів коренеплоди завантажуються навантажувачем-очищувачем Рора Euro Maus з продуктивністю $W_{НО} = 350 \text{ т/год}$. на автомобілі КамАЗ-45144 з причепом ГКБ 83500, загальною вантажопідйомністю 25 т, якими їх вивозять за межі поля на приймальний пункт. Середня відстань перевезення – 25 км, технічна швидкість автомобіля – 40 км/год, час перебування автомобіля на приймальному пункті – 0,1 год.

Визначити: площу, з якої збирається урожай ($U = 60 \text{ т/га}$) групою з трьох комбайнів за 30 робочих днів, кількість ТПП для обслу-

говування групи комбайнів, кількість АТЗ для вивезення буряків з кагатів при повному завантаженні НО.

Рішення. При повному завантаженні комбайнів та згідно агро-терміну площа, з якої збирається урожай групою з трьох комбайнів (відповідно рекомендацій [3]) знаходимо з рівняння (1):

$$S_{3mk} = \frac{m_K W_K T_{3M} K_{3M} D}{U} = \frac{3 \cdot 138 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 30}{60} = 4968 \text{ га},$$

де продуктивність БК за годину змінного часу визначається відповідно рівняння (2):

$$W_K = 170 \cdot 0,81 = 138 \text{ т/год.}$$

при продуктивності БК за годину робочого (основного) часу (4):

$$W_{KP} = 0,1 \cdot 4,05 \cdot 7 \cdot 60 = 170 \text{ т/год.}$$

Кількість ТПП для обслуговування групи 3-х комбайнів дорівнює (11):

$$n_{II} = CEILING \ 0,9 \cdot 3 \cdot 170 \left(\frac{1}{720} + \frac{1}{850} + \frac{0,09}{25,6} \right) = 3 \text{ од.}$$

Кількість АТЗ для вивезення буряків з кагатів при повному завантаженні НО визначається як (16):

$$n_A = CEILING \frac{1,23 \cdot 350 \cdot 0,8 \left(\frac{1,5 \cdot 25,6}{0,8 \cdot 350} + \frac{2 \cdot 25}{40} + 0,1 \right)}{25,6} = 20 \text{ од.}$$

Висновок. Обґрунтована методика визначення раціональних параметрів удосконаленої перевалочної технології для цукрових буряків, яка забезпечує роботу комбайнів без простою, зменшує ущільнення ґрунту, виключає його вивезення з поля, а також дає можливість оптимізувати терміни транспортування коренеплодів та кількість АТЗ, які одночасно застосовуються.

Список літератури

1. Измайлов А.Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК / А.Ю. Измайлов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 200 с.
2. Труханська О.О. Аналіз конструктивних особливостей комбінованих очисних систем вороху коренеплодів / О.О. Труханська, Л.П. Середа, І.Є. Кравченко //Збірник наукових праць Вінницького аграрного університету. – 2011. – № 9. – С. 144–152.
3. Курило В.Л. Збиранню цукрових буряків – високу якість / В.Л. Курило, В.М. Сінченко, В.І. Пиркін та ін. // Цукрові буряки. – 2012. – №4. – С. 20–22.
4. Гречкосій В.Д. Комплексна механізація буряківництва / В.Д. Гречкосій, М.Я. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін. – К.: ТОВ. «Нілан», 2013. – 358 с.
5. Фришев С.Г. Визначення раціональних параметрів технологічного ланцюга “зернові комбайни – причепи-перевантажувачі – автомобільні транспортні засоби” / С.Г. Фришев, С.І. Козупиця // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 3. – С. 203–211.

6. *Фришев С.Г.* Аналіз пропускної здатності транспортно-технологічного комплексу з безбукерними комбайнами / *С.Г. Фришев* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 2. – С. 203–211.

7. *Бурьянов А.И.* Технология, организация и планирование перевозок грузов на сельскохозяйственных предприятиях : монография / *А.И. Бурьянов*. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 268 с

8. *Капланович М.С.* Справочник по сельскохозяйственным транспортным работам / *М.С. Капланович*. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 315 с.

9 *Зязев В.А.* Перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом / *В.А. Зязев, М.С. Капланович, В.И. Петров*. – М.: Транспорт, 1979. – 253 с.

10. *Ільченко В.Ю.* Машино-використання в землеробстві / *В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.* – К.: Урожай, 1996. – 382 с.

Предлагается методика определения рациональных параметров усовершенствованной перевалочной технологии для сахарной свеклы.

Сахарная свекла, уборка, транспортировка, эффективность, производительность.

The technique of definition of rational parameters of advanced technologies for transshipment of sugar beet.

Sugar beet, cleaning, transportation, efficiency, productivity.

УДК 631.879.4

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ЗАЛИШКІВ КОРМУ ТА ПРОДУКТІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТВАРИН

В.С. Хмельовський, кандидат технічних наук

У статті проведено аналіз переробки залишків корму при годівлі тварин та утилізації гною на тваринницьких фермах та комплексах.

Залишки корму, утилізація, компост, зворушувач, гній, зниження затрат.

Постановка проблеми. Дослідженнями доведено, що підвищення перетравності корму на 1% дає змогу збільшити щоденні надії на корову в середньому на 250 г. Найскладніше організм ВРХ

© *В.С. Хмельовський, 2015*

перетравлює клітковину [1]. Досягнувши високої перетравності клітковини, можна отримати додаткове джерело енергії для виробництва молока з того самого корму, який у іншому разі просто виходить з організму тварин транзитом [1]. Також на собівартість тваринницької продукції мають вплив кормові компоненти, розміри яких виходять за межі зоотехнічних вимог, зокрема, такими є грубі та силосовані корми. Адже, залишений тваринами корм, оператори видаляють у гноюві канали, внаслідок чого збільшується собівартість тваринницької продукції та об'єм гною [3, 4].

Внесення гною і посліду в ґрунт без попередньої обробки за даними ВООЗ (Всесвітньої організації охорони здоров'я) може мати негативні наслідки через наявність патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів. Це створює реальну загрозу поширення інфекцій в ґрунті та спалах сходів бур'янів.

Гній, який накопичується на фермах загрожує біологічній безпеці та фінансовому стану підприємства. Адже «екологічні» штрафи великі. В зв'язку з цим гній необхідно утилізувати.

Аналіз останніх досліджень. Технологія отримання перегною сьогодні не актуальна, оскільки не в повній мірі відбувається знезараження гною, а також вона є довготривалою та економічно обтяжливою через розвантажувально-навантажувальні роботи, [2, 3].

Сьогодні в Україні у тваринницьких господарствах починає втілюватись технологія переробки гною у компости поруч з фермою.

Компост (від лат. *compositus* – «складовий») – органічні добрива, які утворюються в наслідок розкладання різних органічних речовин під впливом діяльності мікроорганізмів. Складається компост з гною, посліду, трави, соломи, гілок та інших органічних відходів, наявних на будь-якій фермі [6]. Основа компосту – екскременти тварин. Після обробки гною ми в змозі отримати власні органічні добрива, які природним шляхом здатні «вирівняти» біохімічний склад ґрунту, підняти рівень гумусу.

Мета досліджень – обґрунтувати технологію переробки залишків корму при годівлі тварин та обробки відходів годівлі тварин, а також утилізації гною на тваринницьких фермах та комплексах та забезпечити при цьому зменшення енергетичних затрат.

Результати досліджень. Для переробки гною поруч з фермою потрібно мати утрамбований відкритий майданчик з невеликим ухилом для стікання дощової води, тверду фракцію гною і будь-які органічні відходи, які є на фермі або в господарстві: стара солома, силос, торф, листя, залишки корму.

Технологія компостування – це аеробний (з доступом кисню) біологічний процес, де гній чи послід і органічні відходи вивозяться на площадку для компостування і складаються в кагати рис. 1. При

формуванні кагату спочатку укладаються найменш щільні матеріали, а потім інгредієнти з більш високою щільністю. Приблизні розміри бурта: ширина 3 м, висота 1,5 м, довжина 150 м розрахунковий об'єм кагату складає 337,5 м³. Кількість буртів залежить від кількості гною і величини площадки [5].



Рис. 1. Формування кагатів.

В холодний період року виготовлення компосту становить – 60–65 днів, в теплий період року – 45–50 днів. Оскільки необхідно, щоб всі матеріали пройшли фази компостування одночасно, свіжа органіка додається в кагати виключно в перші 2 тижні [5, 6]. Для синхронізації розкладання поливаємо кагати водою або рідким гноєм і перемішуємо, поки рідина повністю не вбереться матеріалом. Періодично заміряються температура, вологість і вміст CO₂ у кагаті. Під час процесу компостування досягаються температури, що перевищують 55–60°C при вологості 40–50%. Неприятливе середовище, яке створюється багатьма термофільними і теплотривкими мікроорганізмами сприяє знищенню хвороботворних мікробів бактерій, грибів і насіння бур'янів. Саме тоді інтенсивно виділяються пари сірководню, вуглекислотних і аміачних сполук, метану та інших токсичних речовин, що знаходяться в гною. Ось ці речовини, до речі, і наносять шкоду культурним рослинам при удобрюванні їх свіжим гноєм. Перетворення азоту є ключовим в компості, адже для його утворення величезне значення має вуглецево-азотний баланс (C:N). Співвідношення C:N є відношенням ваги вуглецю до ваги азоту. Кількість необхідного вуглецю повинна значно перевершувати кількість азоту. Контрольне значення цього співвідношення при компостуванні дорівнює 30:1 (30 г вуглецю на 1 г азоту). Оптимальним вважається співвідношення C:N як 25:1 [2, 5, 6].

Невід'ємною машиною у технології утворення компосту є зворушувач, наприклад, РТ-120, який приводиться в рух від ВВП трактора класу 1,4 рис. 2. В транспортному положенні зворушувач встановлюється у вертикальне положення за допомогою гідравлічної системи трактора [5].



Рис. 2. Загальний вигляд агрегату для компостування.

При обробі кагату потрібно дотримуватись співвідношення швидкості руху зворушувача та кількості обертів барабана це впливає на швидкість виведення CO_2 та потрапляння повітря (кисню O_2) в кагат, при оптимальних параметрах буде формуватись щілина між кагатом та барабаном зворушувача 7,5–15 см рис. 3. Зворушувач компосту переміщується у валку з регульованою швидкістю, яку встановлює оператор (0–300 м/год.), а швидкість обертання барабана становить 270–540 обертів за хвилину [5].

Ворушіння повинно бути повільним для стимулювання утворення гумусу, який дозволить утримувати O_2 . Якщо швидкість ворущіння буде високою, ми не отримаємо бажаного ефекту і органіка буде розкидатися.

Барабан перемішує і подає матеріал із зовнішніх сторін валка у середину, утворюючи позаду чіткий кагат трикутної форми рис. 4.

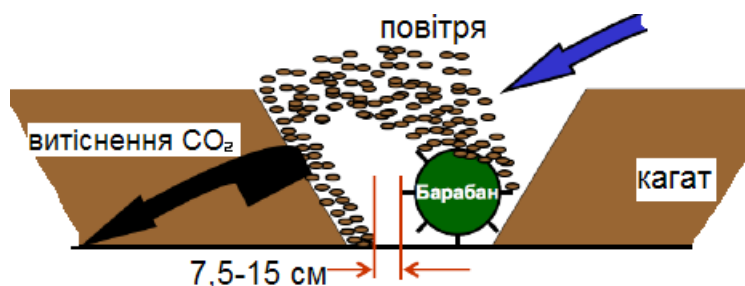


Рис. 3. Схема роботи зворушувача.



Рис. 4. Сформований кагат.

Агрегат для утворення компосту обладнано ємкістю на 6800 л рис. 2 та інтегрованою системою обприскування [5]. Це дає можливість обприскувати матеріал водою або іншими рідинами під час обробки для забезпечення необхідних поживних речовин. Зворушувач компосту в процесі роботи завдяки гідравлічній системі може опуска-

тися до самих нижніх шарів кагату, як наслідок – висока рівномірність перемішування матеріалу. Після правильного проведення процесу компостування об'єм кагату зменшиться на 40–60%, залежно від використовуваної сировини. Норма внесення готового продукту складає 4–8 тон на 1 га, а це означає, що витрата палива на процес видалення та утилізацію гною на тваринницькій фермі значно скоротиться.

Висновок. Компостуванням вирішуємо проблему переробки залишків корму при годівлі та обробки відходів годівлі тварин та утилізації гною і знижуємо собівартість продукції рослинництва зменшенням витрат на придбання добрив та підвищуємо якість кінцевого продукту. Компост не містить патогенної мікрофлори та немає неприємного запаху і може використовуватись як підстилка для ВРХ замість соломи. Технологія компостування не вимагає великої кількості машин та обладнання. За умов оптимально складеного графіку процесом вивезення та компостування гною може займатись одна людина. Правильний компост – це основа і запорука майбутнього врожаю та підвищення рентабельності галузі тваринництво.

Список літератури

1. Івашко Я. Ефективність корму – у перетравності клітковини / Я. Івашко // Agroexpert. – №1. – 02/2015. – С. 8–10.
2. Єщенко В.О. Загальне землеробство / В.О. Єщенко. – К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.
3. Машина та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко. – К.: Кондор, 2009. – 730 с.
4. Машина та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / [І.І. Ревенко, О.О. Заболотько та ін]. – К.: Кондор, 2012. – 564 с.
5. www.bnsgroup.com.ua.
6. Івашко Я. Compost / Я. Івашко // Agroexpert. – №1. – 11/2014. – С. 1–16.

В статье проведен анализ переработки остатков кормов при кормлении животных и утилизацию гноя на животноводческих фермах и комплексах.

Остатки корма, утилизация, компост, ворушитель, гной, снижение затрат.

In paper analyzes the processing of food residues in animal nutrition and disposal of manure on livestock farms and complexes.

Forage remains, utilization, compost, lotsing, pus, decrease in expenses.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА І ВИТРАТИ МАТЕРІАЛЬНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

***Н.І. Болтянська, О.В. Болтянський, кандидати технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет***

У статті розглянуто шляхи підвищення екологічної безпеки виробництва, а також зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції та обладнання, що для цього використовується.

Тваринництво, переробка гною, сепарація, тверда і рідка фракції, способи і технології видалення гною.

Постановка проблеми. Дотепер у сільському господарстві України переважає концепція виробництва у відкритих екосистемах, які потребують постійного збільшення затрат ресурсів. За такого підходу, як правило, частка використання у господарствах власної первинної продукції зменшується, а частка енергетичних та деяких інших ресурсів (електрика, паливо, корми, добрива, пестициди тощо) зростає. Відкриті системи значно різняться від природних екосистем незбалансованим коло-обігом речовини та енергії. За подальшого неконтрольованого постійного збільшення витрат ресурсів виробництво сільськогосподарської продукції може стати економічно збитковим, а процеси деградації навколишнього середовища і руйнації екологічних структур – незворотними [1–3].

Вітчизняний і закордонний досвід засвідчує, що з метою підвищення екологічної безпеки виробництва, а також зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції доцільно і необхідно розробляти і впроваджувати біоконверсійні технології переробки та ефективного використання відходів цього виробництва, зокрема гною [1, 4].

Аналіз останніх досліджень. Утримання свиней і великої рогатої худоби пов'язане з накопиченням гною, який повинен зберігатися у великих місткостях до його вивезення на сільськогосподарські поля. У регіонах з великим поголів'ям худоби об'єм гною, використовуваного як добриво, частенько обмежений, оскільки ґрунт вже достатньою мірою насичений поживними речовинами (наприклад, фосфором). Крім того, гній в процесі зберігання повинен постійно піддаватися гомогенізації щоб уникнути утворення осадових відкладень.

© Н.І. Болтянська, О.В. Болтянський, 2015

З подібними проблемами стикаються також експлуатаційники біогазових установок, які теж вимушені зберігати і вивозити на поля відходи бродильного субстрату [5, 6].

Основні вимоги до технології і засобів для переробки та використання гною визначені нормативно-технічними документами на проектування таких систем, а також ветеринарно-санітарними і гігієнічними вимогами щодо обладнання технологічних ліній обробки, знезараження та утилізації гною на тваринницьких фермах і комплексах. При проектуванні систем прибирання, видалення, обробки та використання гною слід враховувати прогресивні технології і дотримуватися умов, які забезпечують:

- повне використання всіх видів гною та його складових як добрива для сільськогосподарських угідь або сировини для виробництва комплексних органо-мінеральних добрив чи для інших виробничих потреб;
- виконання ветеринарних і санітарно-гігієнічних вимог експлуатації тваринницьких підприємств при мінімальних витратах води, а також вимог законодавства щодо охорони навколишнього середовища;
- підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів.

Гній, залежно від виду тварин і системи гноєвидалення, може мати різну концентрацію. При внесенні шланговими системами нерозділеного гною максимальна концентрація сухих речовин має бути не більше 8...9%. Чим рідше гній, тим краще. Тому фахівці "біокомплексу" для внесення гною шланговими системами рекомендують гній розділяти, оскільки внесення рідкої фракції економічно доцільніше з наступних причин:

- в рідкій фракції концентрація твердих часток мінімальна (0,8...1,7%), а отже, її можна перекачувати за інших рівних умов на великі відстані (на 70% далі в порівнянні з нерозділеним гноєм) або можна використовувати насосні станції меншої потужності і економити на витраті палива;
- для перекачування рідкої фракції використовуються тонші шланги, що знижує вартість самої системи;
- вміст N - P - K в рідкій фракції збалансованіший, що дозволяє її вносити в більшому об'ємі – від 100 до 300 м³ на 1 га в рік проти 50...90 м³ на 1 га в рік нерозділеного гною. Об'єм внесення варіюється залежно від вирощуваних культур;
- відокремлену тверду фракцію можна використовувати повторно як підстилку для ВРХ або реалізовувати як високоякісний компост;

- при перекачуванні рідкої фракції не виникає тертя твердих складових, що викликає знос внутрішньої стінки шланга і що уповільнює потік, крім того, виключається вірогідність утворення засмічень [6–8].

Мета досліджень. Розглянути можливі шляхи підвищення екологічної безпеки виробництва, а також зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції та обладнання, що для цього використовується.

Результати досліджень. Початкові стоки гною свиней і тим більше ВРХ використовувати для внесення дощувальними машинами неможливо через велику кількість твердих складових. Основною вимогою до підготовки стоків гною для можливості використання саморушних дощувальних машин для внесення гною являється розподіл гною сепараторами на тверду і рідку фракції. Сепаратори видаляють з рідкого гною практично усі тверді складові, а в отримуваній рідкій фракції залишаються тільки розчинені речовини, які не засмічують дощувальні машини і легко перекачуються звичайними насосами. Переробка рідкого гною здійснюється шляхом його розділення на тверду та рідку фракції, приготування компостів, анаеробного зброджування. Розділення рідкого гною на фракції, здійснюється шляхом фільтрації (за допомогою дугових сит, інерційних грохотів, віброфільтрів, центрифуг тощо) та флотації (в результаті осідання твердих часток). Сепарація гною здійснюється за допомогою комплексу устаткування в різних конфігураціях залежно від мети сепарації, початкової вологості гною, наявності довгих волокон підстилки. Для механізації цих процесів використовують відповідне обладнання. Початкові стоки гною свиней і тим більше ВРХ використовувати для внесення дощувальними машинами неможливо через велику кількість твердих складових. Основною вимогою до підготовки стоків гною для можливості використання саморушних дощувальних машин для внесення гною являється розподіл гною сепараторами на тверду і рідку фракції. Сепаратори видаляють з рідкого гною практично усі тверді складові, а в отримуваній рідкій фракції залишаються тільки розчинені речовини, які не засмічують дощувальні машини і легко перекачуються звичайними насосами.

Система OptiPress призначена для сепарації рідких тваринницьких стоків, відходів бродильного субстрату з біогазових установок, а також інших субстратів, що підлягають сепарації, наприклад, стічної води після миття транспорту для перевезення худоби.

Установки виготовляються в двох варіантах, які використовуються залежно від однорідності початкової сировини і долі вмісту в ньому сухої речовини. Установка OptiPress I є фільтр-пресом з гвинтовим транспортером і ідеально підходить для сепарації гною із вмі-

стом сухої речовини від 2% до 10%. Установка OptiPress II є прес-шнеком, призначеним передусім для сепарації відходів бродильного субстрату з біогазових установок, для яких характерний підвищений вміст сухої речовини (5...15%) і частіше грубіша структура початкового матеріалу (довговолокнисті компоненти).

При використанні обох варіантів доля сухих речовин у відокремленій твердій фракції складає від 25% до 30%.

Вона має менш інтенсивний запах і може бути використана як сипке органічне добриво. Вміст сухої речовини у фільтраті знижується при цьому майже на 50% в порівнянні з початковою сировиною.

Внаслідок того, що фосфор органічно зв'язується переважно з твердими речовинами, він сепарується більшою мірою, ніж азот і калій, які, як правило, залишаються у фільтраті.

Фільтрат можна також ефективно використовувати як рідке добриво, розпилюючи його за допомогою дощувальних установок. При його зберіганні немає необхідності в гомогенізації, оскільки практично відсутнє розшарування на фракції.

Якщо в початковій сировині (гної або відходах) доля сухої речовини складає близько 6%, то в процесі сепарації отримують тверду фракцію з долею сухої речовини 30% і фільтрат з долею сухої речовини близько 3%.

Що стосується поживних речовин, то фосфор в твердій фракції складає приблизно 35...60% (залежно від початкової сировини).

Таким чином, отриманий кінцевий продукт можна з невеликими витратами поставляти в регіони з підвищеним попитом на фосфорні добрива.

Співвідношення рідкої і твердої фракції приведені на рис. 1, розподіл поживних речовин в процентному відношенні до початкової сировини – на рис. 2.

Співвідношення рідкої та твердої фракції після сепарації

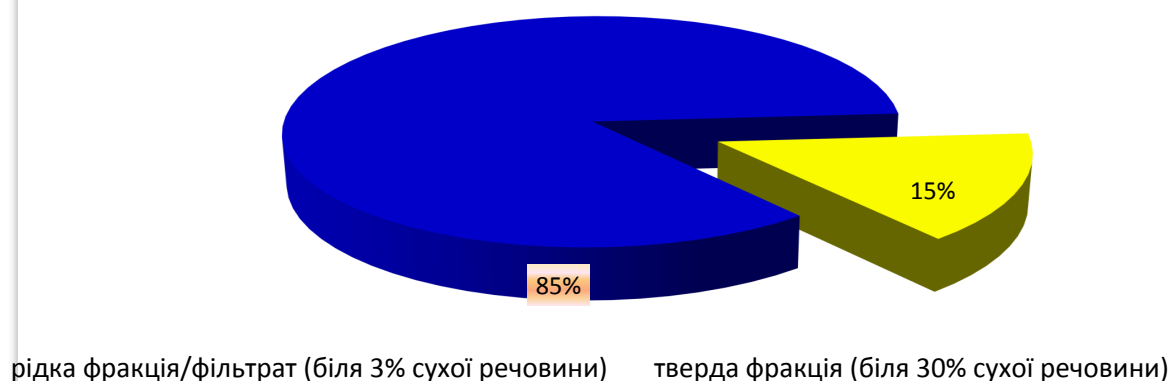


Рис. 1. Співвідношення рідкої і твердої фракції після сепарації.

Розподіл поживних речовин (у %-му відношенні до вихідної сировини)



Рис. 2. Розподіл поживних речовин у процентному відношенні до початкової сировини.

Принцип роботи фільтр-преса для субстратів з однорідною структурою і низьким вмістом сухої речовини показано на рис. 3.

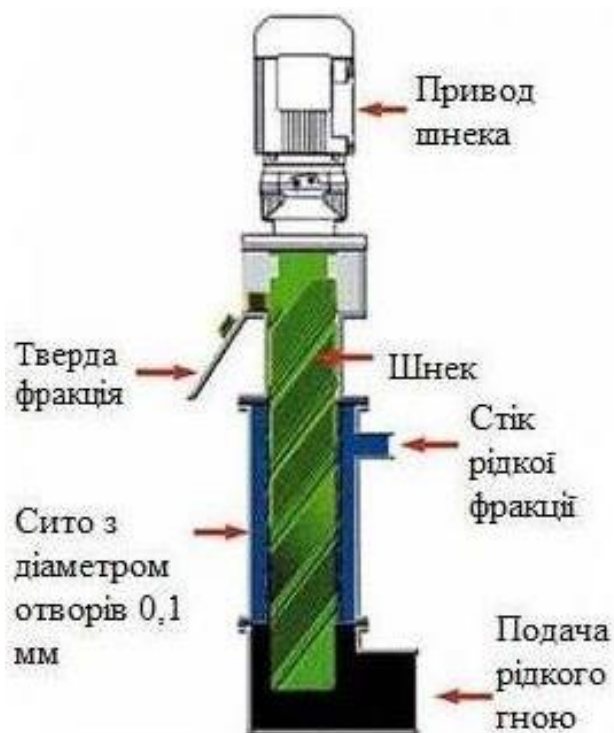


Рис. 3. Принцип роботи фільтр-преса для субстратів з однорідною структурою і низьким вмістом сухої речовини.

Для раціонального використання установки фільтр-прес і накопичувальну місткість необхідно встановлювати між тваринницьким приміщенням і сховищем стоків. У такому разі можна відразу проводити сепарацію рідкого гною, при цьому в сховищі для рідкого гною поступатиме тільки фільтрат. Компенсаційна місткість, оснащена сенсорними датчиками рівня заповнення, забезпечує безперебійну і

рівномірну подачу сировини насосом фільтр-преса з гвинтовим транспортером. Сировина подається у вертикально розташовану фільтрувальну колону за гвинтовим транспортером. У міру транспортування шнеком фільтрату виробляється його обезводнення за допомогою сита. Залежно від об'ємів сировини, що сепарується, враховуючи, що продуктивність однієї фільтрувальної колони 1,5 м³/год., є можливість до модульного розширення до 4-х колон. Кожна фільтрувальна колона приводиться в дію індивідуальним двигуном. Викид твердої фракції відбувається у верхній частині гвинтового транспортера. Гвинтовий транспортер з регульованою швидкістю обертання забезпечує рівномірну подачу початкової сировини. Управління здійснюється від розподільної шафи. Початкова сировина не повинна містити будь-яких сторонніх домішок (наприклад, вушних бірок для тварин), інакше необхідно встановити додатковий модуль для очищення сировини від домішок.

Принцип роботи прес-шнека для субстратів з неоднорідною структурою і підвищеним вмістом сухої речовини показано на рис. 4.

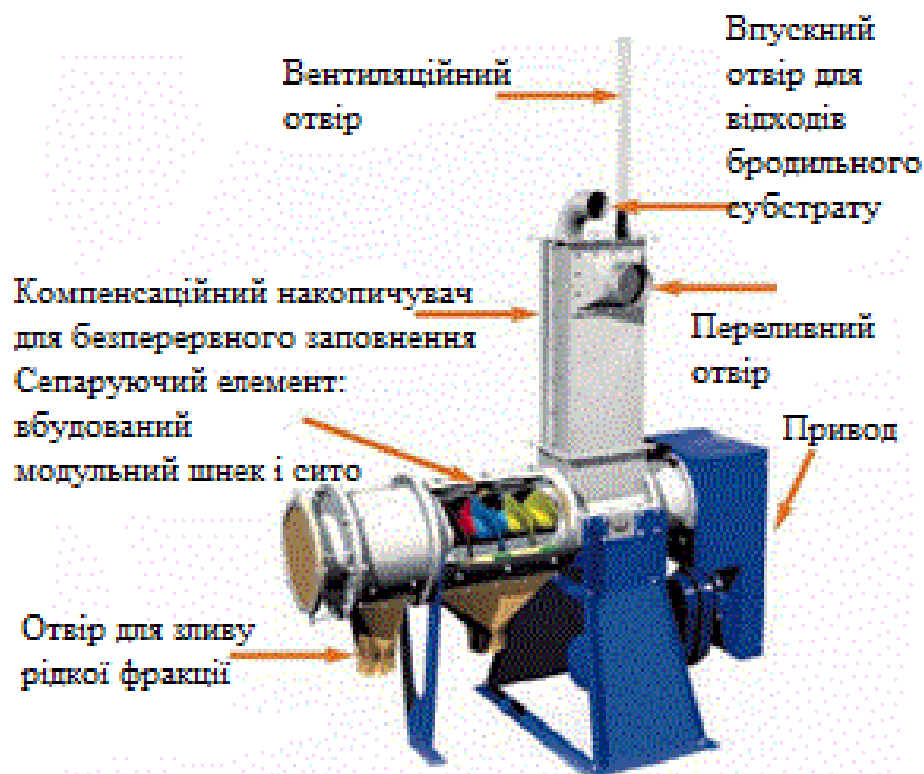


Рис. 4. Принцип роботи прес-шнека для субстратів з неоднорідною структурою і підвищеним вмістом сухих речовин.

Початковий субстрат подається з накопичувальної місткості в компенсаційний накопичувач прес-шнека за допомогою насоса. Компенсаційний накопичувач забезпечує постійне заповнення сепаруючої секції. Сито забезпечує якісну сепарацію початкового суб-

страту. Випускний отвір для твердої фракції відкривається тільки при певному протитиску, що створюється сепарованою твердою фракцією. Електродвигун потужністю в 5,5 кВт забезпечує максимальну пропускну спроможність в 30 м³/год.

Схему переробки гною пресо-шнековим сепаратором наведено на рис. 5. Стоки гною з виробничих корпусів прямують в приймальний резервуар для поточного накопичення і перемішування перед процесом розділення. Для забезпечення процесу перемішування застосовується міксер-гомогенізатор, який створює однорідну консистенцію речовини на вході. Насос з подрібнюючим механізмом перекачує однорідну масу в сепаратор.

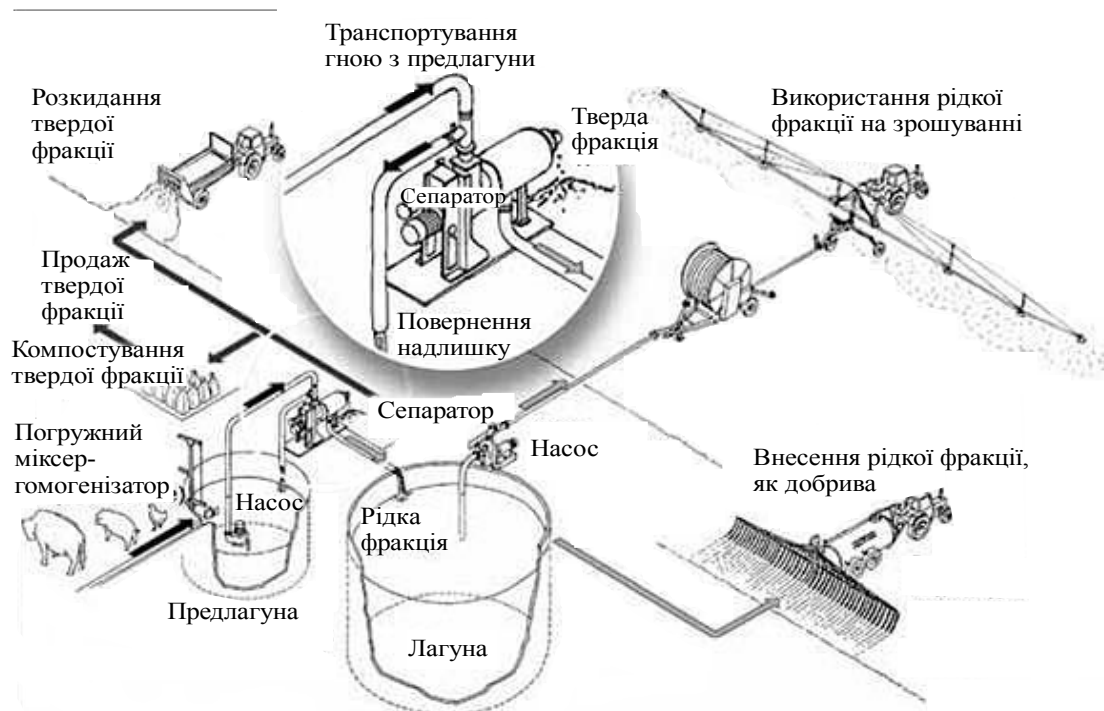


Рис. 5. Схема переробки гною пресо-шнековим сепаратором.

Завдяки вбудованому перепускному клапану надлишок стоків повертається назад в резервуар самопливом. Стоки, потрапивши в камеру шнека, спочатку обробляються вібраційним пристроєм, це сприяє ефективнішому обезводненню на подальших стадіях сепарації. На першому етапі частина вільної води відділяється через сито самопливом, відокремлена вода виходить через випускний патрубок сепаратора. Вода, зв'язана в твердих складових, відділяється при пресуванні маси, яке відбувається на останніх двох витках шнека. Після відділення твердий матеріал може бути звалений в купу або перевезений звичайними засобами механізації, наприклад, трактором з причепом. Відокремлена рідина може використовуватися повторно для змиву гною або поміщена на зберігання у відстійник як рідке добриво. Сила пресування регулюється противагами, що ви-

значають зворотний тиск, що створюється на виході сепаратора. Продуктивність залежить від впливу різних чинників: початкової концентрації стоків, температури, типу корму, терміну зберігання гною, положення противаг, регулюючих ступінь віджимання.

Зазвичай устаткування і техніка для внесення гною купуються в останню чергу. Розрахунок же необхідної кількості техніки і устаткування для зберігання, переробки і внесення річного об'єму гною робиться навмання, не враховуються періоди неможливості внесення і вимушеного простою - кількість і об'єм гноєнакопичувачів, змінність роботи, вірогідність дощової погоди, можливих поламок, зимового періоду і періоду вегетації. Помилки в розрахунках можуть привести до найсерйозніших наслідків, коли гноєнакопичувачі залишаться заповненими перед зимовим періодом через те, що не встигли внести увесь необхідний об'єм гною.

Висновки

Неуважне відношення до питань утилізації і переробки гною може привести до відвернення ресурсів від основного виробництва на виправлення помилок проектування і експлуатації системи гноєвидалення, у зв'язку з чим можливі простої в основній господарській діяльності зниженню екологічної безпеки виробництва, а також збільшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. Виправлення помилок проектування може обійтися в рази дорожче. Проектування усієї системи видалення і переробки гною повинне виконуватися організаціями, що спеціалізуються на цій тематиці, які зможуть передбачити усі нюанси функціонування системи і мінімізувати витрати на будівництво і експлуатацію.

При виборі організації, яка здійснюватиме проектування, поставання устаткування і монтаж, необхідно ознайомитися з її досвідом реалізації подібних проектів. Устаткування, що поставляється цією фірмою, має бути адаптоване до експлуатації в нашій країні. Також ця організація повинна надавати гарантійне і сервісне обслуговування в розумні терміни, оскільки вироблення гною на свинокмплексах не припиняється ні на хвилину.

Список літератури

1. Болтянська Н.І. Пути развития отрасли свиноводства и повышение конкурентоспособности ее продукции / Н.І. Болтянська // Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – 2012. – Vol. 14. – No3B. – P. 164–175.
2. Нечаев В. Разработка направлений инновационного развития животноводства / В. Нечаев, Е. Артемова, С. Фетисов // Экономика сельского хозяйства России. – 2009. – № 12. – С. 38–48.
3. Седов Ю. Д. Свины: разведение, содержание, уход / Ю.Д. Седов. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 189 с.

4. Кольга Д.Ф. Генеральные планы животноводческих и птицеводческих предприятий: методические указания к расчету и проектированию / [Д.Ф. Кольга и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008. – 72 с.
5. Смирнова В. Конкурентоспособность продукции свиноводства в условиях роста цен на зерно / В. Смирнова // АПК: экономика, управление. – 2009. – № 3. – С. 55–59.
6. Кольга Д.Ф. Методика расчета и проектирования генеральных планов животноводческих ферм и комплексов: методические указания / [Д.Ф. Кольга и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – 72 с.
7. Скляр О.Г. Механізація технологічних процесів у тваринництві : навч. посібник / О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська. – Мелітополь: Колор Принт, 2012. – 720 с.
8. Agroru.com – торговая система: <http://www.agroru.com/doska/647216.htm>.

В статье рассмотрены пути повышения экологической безопасности производства, а также уменьшения расходов материальных и энергетических ресурсов для получения сельскохозяйственной продукции и оборудования, которое для этого используется.

Животноводство, переработка гноя, сепарация, твердая и жидкая фракции, способы и технологии удаления гноя.

In paper the ways of increase of ecological safety of production, and also diminishing of charges of material and power resources, are considered for the receipt of agricultural produce and equipment which for this purpose is used.

Animal husbandry, pus processing, separation, firm and liquid fractions, ways and technologies of removal of pus.

УДК 37.041:377.35:861.3

СУБ'ЄКТИВНІ ДИДАКТИЧНІ УМОВИ ПРОФЕСІЙНОГО САМОРОЗВИТКУ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

М.М. Бондар, кандидат педагогічних наук

Статтю присвячено дослідженню питань пов'язаних із формуванням умов для професійного саморозвитку майбутніх фахівців інженерної сфери агропромислового виробництва засобами особистісно-розвивальних педагогічних технологій. Обґрунтовано суб'єктивні дидактичні умови професійного саморозвитку майбутніх фахівців з механізації сільського господарства під час

© М.М. Бондар, 2015

вивчення загальноінженерних дисциплін. Це організація формування безперервної зовнішньої мотивації оволодіння знаннями із загальноінженерних дисциплін з поступовою трансформацією її у внутрішню мотивацію; забезпечення формування професійно-пізнавальних інтересів студентів у навчальному процесі; створення викладачем позитивного емоційного фону на основі навчальних ситуацій, що сприяють виникненню у майбутніх фахівців з механізації сільського господарства стеничних позитивних емоцій.

Особистісно-розвивальне навчання, професійний саморозвиток, суб'єктивні дидактичні умови, навчально-пізнавальна діяльність, педагогічні умови навчання.

Постановка проблеми. Сталий розвиток агропромислового комплексу України значною мірою залежать від рівня підготовки фахівців інженерної сфери, зайнятих у сільськогосподарському виробництві. В зв'язку із чим, у вищій аграрній школі існує гостра потреба в поглибленому теоретичному аналізі педагогічної сутності розвивального навчання, обґрунтуванні його цілей, завдань і структури, педагогічно доцільному виборі системи методів формування умов для професійного саморозвитку майбутніх інженерів. Нинішній фахівець-аграрник повинен не тільки володіти професійними знаннями, вміннями й навичками, а й бути готовим до творчого застосування свого досвіду, постійної самоосвіти й професійного саморозвитку. З огляду на зазначене, у вищій аграрній освіті на перший план висувається завдання створення умов, які забезпечують професійний саморозвиток творчого потенціалу особистості студента. Одним із таких підходів підвищення якості підготовки фахівців у вищій аграрній школі є організація цього процесу на засадах особистісно-розвивальних технологій.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичний аналіз наукових праць, у яких представлено результати проведених досліджень, показав, що проблема професійного саморозвитку творчого потенціалу особистості майбутніх аграрників на засадах особистісно-розвивального підходу ще недостатньо досліджена й розроблена у теоретичному й практичному аспектах.

Відомий український дидакт С. Гончаренко, чітко й конкретно визначає означену технологію вказуючи, що розвивальне навчання — це спрямованість принципів, методів і прийомів навчання на досягнення найбільшої ефективності розвитку пізнавальних можливостей школярів: сприймання, мислення, пам'яті, уяви тощо [1]. Спираючись на незавершені цикли психічного розвитку дитини, розвивкове навчання формує мислительні здібності, самостійність школярів, інтерес до навчання, а також удосконалює різні форми сприймання. Ро-

розвивальне навчання передбачає інтенсивну розумову роботу учнів шляхом реалізації проблемних методів, запровадження системи пізнавальних завдань, озброєння їх прийомами пізнавальної діяльності. Основою учіння в структурі такого навчання є зв'язок – «мета → засіб → контроль», центральною ланкою – самостійна навчально-пізнавальна діяльність суб'єктів учіння, яка заснована на їх здатності регулювати свої дії відповідно до усвідомлених цілей. Отже, сутність розвивального навчання полягає в тому, що суб'єкт учіння не тільки засвоює конкретні знання, вміння та навички, але й опановує способи дій.

Думки про розвивальне навчання висловлювали видатні педагоги І. Песталоцці, А. Дістервег, К. Ушинський та ін. Наукове обґрунтування цієї концепції знаходимо в роботах Л. Виготського. Експериментальне обґрунтування й подальший науковий розвиток вона дістала в працях Л. Занкова, Д. Ельконіна, В. Давидова, Н. Менчинської, І. Якиманської та інших науковців. Праці науковців переконують, що розвивальне навчання орієнтує дидактичний процес на потенційні можливості людини та на їх реалізацію [2].

Вивчення психолого-педагогічної наукової літератури з проблем професійного саморозвитку виявив багатогранність та складність предмету дослідження. Так, праці видатних психологів Л.С. Виготського [3], К.А. Абульханової [4], О.О. Бодалєва [5] та ін., дають підстави вважати, що цілеспрямований саморозвиток є якісним показником процесу становлення суб'єктності особистості. Тоді, визначальною характеристикою поняття саморозвитку є свідома якісна самозміна самого себе, що сприймається як головний внутрішній механізм індивідуально-особистісного розвитку. Враховуючи це, більшість дослідників визначають професійний саморозвиток як усвідомлений цілеспрямований процес особистісного і професійного самовдосконалення, що має за мету творчу самореалізацію в певній професійній діяльності.

Питанням професійної й особистісної самореалізації присвячено праці багатьох науковців [6–11]. Першорядну увагу дослідників сконцентовано на тому, що майбутньому спеціалісту потрібно не тільки успішно займатися в системі відповідної фахової підготовки, а й весь час працювати над собою, професійно саморозвиватися та самовдосконалюватися. В зв'язку із чим, важливим фактором самореалізації є націленість майбутнього фахівця на постійний професійний саморозвиток. Разом із тим, цей процес буде ефективним за наявності виразних педагогічних умов.

Метою досліджень є визначення суб'єктивних дидактичних умов розвитку навчально-пізнавальної діяльності направленої на

формування у майбутніх аграрників готовності до професійного саморозвитку.

Результати досліджень. Навчання у вищому навчальному закладі слід розглядати як своєрідний технологічний процес формування активної ініціативної особистості, яка, ґрунтуючись на фундаментальних наукових знаннях, вміє глибоко аналізувати і приймати обґрунтовані рішення під час виконання своїх функціональних обов'язків та має усвідомлений мотив до професійного саморозвитку. При цьому ми виходимо з того, що якщо в ході навчальної діяльності сформовано творче мислення як інтегральна якість особистості, то це обов'язково проявить себе в професійній діяльності при наявності високої компетентності, необхідних мотиваційних установок і певного досвіду рішення широкого кола практичних завдань. У вирішенні цієї проблеми важливе значення має визначення суб'єктивних дидактичних умов розвитку творчої навчально-пізнавальної діяльності майбутніх фахівців з механізації сільського господарства.

А.І. Дьомін суб'єктивними дидактичними умовами пізнавальної діяльності студентів вважає такі, що визначають їхню підготовленість до свідомого вивчення навчального матеріалу [12]. Суб'єктивні умови, які впливають на пізнавальну діяльність учнів, визначаються багатьма факторами. У докторській дисертації [13] А.І. Дьоміна ці фактори запропоновано звести до таких основних груп: за особистим відношенням до навчання взагалі, зокрема: бажання або небажання вчитись, байдуже або негативне відношення до навчальної праці, почуття обов'язку вчитися або легковажне відношення до навчання тощо; за інтересом учнів до навчання: до матеріалу, що вивчається; до оволодіння новими знаннями; до процесу пізнавальної діяльності; інтерес, що виражається потребою оволодіти певною професією, спеціальністю тощо; за особистісними якостями учнів: уміння або невміння довільно управляти своєю увагою, уміння зосереджуватись на потрібному, необхідному для навчання або підпорядковуватись тимчасовим бажанням, схильність підпадати під безроздільний вплив іншої особи тощо; за рівнем апперцепції у сприйманні змісту, що викладається. Слід відзначити, що А.І. Дьоміном проведено дослідження тільки останньої групи факторів, а три попередні групи факторів залишились поза увагою вченого і потребують додаткових досліджень, що і є метою даної статті.

Звісно, що будь-яка діяльність людини, в тому числі і навчальна, завжди вмотивована. Мотиви є необхідним компонентом діяльності людини. Вони визначають те, заради чого учні виконують навчальні завдання. Проблема мотивації людської діяльності в сучасній психології вивчалась достатньо глибоко і насамперед за все за

такими основними напрямками як теоретично-інстинктивне, теоретично-особистісне (лінії психології особистості, когнітивної психології і психології мотивації), а також в рамках теоретично-асоціативного напрямку (лінії психології навчання і психології активації). Як зазначає В.П. Безпалько, мотиваційний етап дидактичного процесу дозволяє досягти ефекту швидкого включення учня в пізнавальну діяльність [14].

У навчальній діяльності молода людина вступає у пору соціальної зрілості, відбувається подальше, більш інтенсивне, засвоєння соціальних норм, суспільних цінностей, становлення самосвідомості та саморозвитку. Позитивний хід цих процесів приводить до формування такої структури особистості спеціаліста, яка характеризується суб'єктивною вибірковістю відображення світу, здатністю до професійного саморозвитку майбутнього фахівця.

Процеси становлення усталених навиків професійного саморозвитку можуть бути ефективними, якщо достатньо повно сформульовані пізнавальні мотиви – один із основних факторів ефективної пізнавальної діяльності. Ця група мотивів стало домінує, очолює мотиваційну структуру особистості і тим самим визначає спрямованість діяльності. Крім пізнавальних мотивів, навчальну діяльність спонукають мотиви загальносоціальні, професійні, утилітарні та інші. Оптимальний варіант розвитку мотиваційної сфери студента є необхідною умовою високопродуктивної діяльності, яка обумовлена сформованим механізмом самоуправління особистості.

Таким чином, організація формування безперервної зовнішньої мотивації оволодіння знаннями із загальноінженерних дисциплін з поступовою трансформацією її у внутрішню мотивацію є першою суб'єктивною дидактичною умовою формування потреби професійного саморозвитку та творчої навчально-пізнавальної діяльності майбутніх фахівців з механізації сільського господарства.

В.М. Манько, розглядаючи пізнавальний інтерес як одну з форм пізнавальної спрямованості особистості, запропонував [15] таке його визначення: пізнавальний інтерес – це форма пізнавальної спрямованості особистості, що проявляється в зосередженні уваги та активізації інтелектуальних психічних процесів як на самому процесі, так і на об'єкті пізнання, супроводжується позитивними емоціями і визначає смислоутворюючу мотивацію особистості. Розвиток пізнавальних інтересів характеризується наступними етапами [16]: епізодичний інтерес, що пов'язаний з конкретною дидактичною ситуацією на занятті; інтерес до деталей і вузлів машин та обладнання, технологічних процесів з механізації сільського господарства як форма пізнавальної спрямованості особистості; особистісний пізнавальний інтерес, який характеризується прагненням студента до пос-

тійного розширення своїх знань, заглибленням в суть об'єктів та процесів, що вивчаються, розкриттям причинно-наслідкових залежностей. Вчений розробив дидактичні умови формування професійно-пізнавального інтересу, що включають такі основні складові.

1. Дидактичне обґрунтування цілей і змісту навчання в цілому і спеціальних дисциплін зокрема, відбір та структурування змісту навчального матеріалу відповідно до принципу ускладнення професійних функцій.

2. Забезпечення певного рівня випередження складності змісту спеціальної дисципліни від рівня наявної підготовки студентів з метою створення сприятливих умов для їх розвитку.

3. Забезпечення високого наукового і методичного рівнів викладання і організації навчального процесу з метою створення ситуації напруження думки.

4. Оснащення навчального процесу технічними і дидактичними засобами навчання, що забезпечують продуктивну навчальну діяльність студентів.

5. Створення підґрунтя позитивного ставлення студентів до змісту і процесу навчання, до активної розумової діяльності.

Дослідник провів аналіз кожної визначеної дидактичних умов та показав як вона реалізується під час вивчення студентами спеціальних технічних дисциплін на прикладі циклу з механізації тваринництва.

Отже, другою суб'єктивною дидактичною умовою формування потреби професійного саморозвитку та розвитку творчої навчально-пізнавальної діяльності майбутніх інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва є забезпечення формування професійно-пізнавальних інтересів студентів під час вивчення загальноінженерних дисциплін.

Аналіз психолого-педагогічної літератури показує, що основна увага в процесі навчання приділяється насиченню студентів інформацією та її логічній переробці, а в цілому спостерігається тенденція переважання інтелектуального начала над емоційним. Проте, вчені розглядають емоційний компонент як невід'ємну складову навчального процесу, що забезпечує розкриття потенційних сил студентів та стимулює розумову продуктивність. За наявності позитивних емоцій під час сприймання навчальної інформації вони діють як добрий стимул, енергійно підсилюють думку, роблять її чіткішою, логічнішою, плідною та не викликають актів гальмування розумової діяльності, підвищують працездатність студентів.

Вивчаючи питання емоційної регуляції навчально-пізнавальної діяльності майбутніх інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва, В.М. Манько наводить [15] визначення емоційності на-

вчання, під якою розуміє насичення суб'єкт — суб'єктних взаємостосунків “викладач – студенти” стенічними емоційними станами та переживаннями, що сприяють формуванню у студентів позитивного емоційно-ціннісного ставлення до навчально-професійної діяльності.

Отже, третьою суб'єктивною дидактичною умовою формування потреби професійного саморозвитку та розвитку творчої навчально-пізнавальної діяльності студентів є створення викладачем позитивного емоційного фону на основі навчальних ситуацій, що сприяють виникненню у майбутніх фахівців з механізації сільського господарства стенічних позитивних емоцій.

Висновки

Таким чином, ми визначили суб'єктивні дидактичні умови для творчої навчально-пізнавальної діяльності студентів направленої на підготовку майбутніх фахівців до їх професійного саморозвитку:

а) організація формування безперервної зовнішньої мотивації оволодіння знаннями із загальноінженерних дисциплін з поступовою трансформацією її у внутрішню мотивацію;

б) забезпечення формування професійно-пізнавальних інтересів студентів у навчальному процесі;

в) створення викладачем позитивного емоційного фону на основі навчальних ситуацій, що сприяють виникненню у майбутніх фахівців з механізації сільського господарства стенічних позитивних емоцій.

Список літератури

1. Гончаренко С.У. Методика як наука / С.У. Гончаренко // Неперервна професійна освіта: теорія і практика. – К., 2001. – Вип. 1. – С. 86–95.
2. Бондар М.М. Розвивальне навчання майбутніх аграрників засобами загальноінженерних дисциплін : монографія / М.М. Бондар. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф». 2007. – 240 с.
3. Виготський Л.С. Психологія розвитку человека / Л.С. Виготський. – М.: Смысл: ООО "Издательство "ЭКМО", 2005. – 1135 с.
4. Абульханова-Славская К.А. Стратегия жизни / К.А. Абульханова-Славская. – М.: Мысль, 1991. – 299 с.
5. Бодалёв А.А. Вершина в развитии взрослого человека: характеристики и условия достижения / А.А. Бодалёв. – М.: Флинта: Наука, 1998. – 168 с.
6. Митина Л.М. Психология труда и профессионального развития учителя / Л.М. Митина. – М.: Академия, 2004. – 320 с.
7. Левківський Б. Підвищення педагогічної майстерності викладачів вищих навчальних закладів / Б. Левківський // Вища школа. – 2005. – № 3. – С. 55–58.
8. Професіоналізм особистості: теоретико-методологічний аспект : монографія / В.Й. Бочелюк, С.А. Білоусов, Г.О. Горбань та ін. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2007. – 248 с.
9. Кручек В.А. Професійна компетентність викладача як фактор формування культури педагогічної взаємодії / В.А. Кручек // Сб. науч. тр. SWorld. – Одеса: Купрієнко, 2013. – Вип. 2. – Т. 18. – С. 63–67.

10. Теслюк В.М. Основи педагогічної майстерності викладача вищої школи : навч. посіб. / В.М. Теслюк. – К. : Логос" 2014. – 344 с.
11. Романовський О.Г. Теоретичні і методичні основи підготовки інженера у вищому навчальному закладі до майбутньої управлінської діяльності : Автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04 / Інститут педагогіки і психології професійної освіти АПН України / О.Г. Романовський. – К., 2001. – 40 с.
12. Дьомін А.І. Розвиток пізнавальної діяльності учнів / А.І. Дьомін. – К.: Вища школа, 1976. – 90 с.
13. Демин А.И. Дидактические основы развития познавательной деятельности учащихся средней общеобразовательной и специальной школы (на материалах обучения техническому труду и сельскохозяйственной технике): Дис. ... д-ра пед. наук в форме научного доклада: 13.00.01 / А.И. Демин. – М., 1990. – 36 с.
14. Беспалько В.П. Системно-методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса подготовки специалистов : учеб.-метод. пособие / В.П. Беспалько, Ю.Г. Татур. – М.: Высшая школа, 1989. – 144 с.
15. Манько В.М. Ступенева підготовка інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва / В.М. Манько, В.В. Іщенко. – К.: Науково-методичний центр аграрної освіти, 2005. – 506 с.
16. Манько В.М. Теоретичні основи методики навчання механізації тваринництва / В.М. Манько. – К.: Редакційно-вид. відділ Наукметодцентру агроосвіти, 2000. – 359 с.

Обоснованно субъективные дидактические условия профессионального саморазвития будущих специалистов по механизации сельского хозяйства при изучении общеинженерных дисциплин. Это организация формирования непрерывной внешней мотивации овладения знаниями общеинженерных дисциплин с постепенной трансформацией ее во внутреннюю мотивацию; обеспечение формирования профессионально-познавательных интересов студентов в учебном процессе; создание преподавателем положительного эмоционального фона на основе учебных ситуаций, способствующих возникновению у будущих специалистов по механизации сельского хозяйства стенических положительных эмоций.

Личностно-развивающее обучение, профессиональное саморазвитие, субъективные дидактические условия, наставительно-познавательная деятельность, педагогические условия обучения.

Grounded subjective didactic conditions of professional self-development of future specialists in agricultural mechanization while studying general engineering disciplines. This is organization of formation of continuous external motivation for knowledge acquirement of general engineering disciplines with its gradual transformation into internal motivation; providing of professional and cognitive interests of students in learning process; creating of positive emotional background by the teacher which is based on case studies and promotes formation of

stheniac positive emotions by future specialists in agricultural mechanization.

Personal developing training, professional self-development, subjective didactic conditions, preceptive cognitive activity, pedagogical conditions of training.

УДК 631.333

ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ СИПКОГО СУБСТРАТУ У ПРИСТОВБУРНІ СМУГИ БАГАТОРІЧНИХ НАСАДЖЕНЬ

І.В. Тимошок, кандидат технічних наук

В.О. Соколов, інженер

Інститут садівництва НААН

Р.В. Шатров, кандидат технічних наук

***Національного університету біоресурсів і
природокористування України***

З метою забезпечення необхідної якості та надійності виконання технологічної операції внесення сипкого субстрату у пристовбурні смуги багаторічних насаджень обґрунтовано конструкційну і технологічну схеми машини для його внесення.

Пристовбурні смуги, утримування ґрунту, мульчувальний субстрат, машина, робочі параметри.

Постановка проблеми. Однією з передумов отримання високих урожаїв при застосуванні інтенсивних технологій виробництва плодової продукції є утримування ґрунту в належному стані і забезпечення рослин необхідними поживними речовинами. Найбільш поширеною системою утримування ґрунту є задерніння міжрядь і чорний пар у пристовбурних смугах шириною 1,0–1,6 м. Останній у перші 2 роки рекомендується підтримувати за допомогою механічних знарядь, а в подальшому вносити гербіциди 2–3 рази за сезон [1].

Однак, поряд з позитивними сторонами даної технології, в ній присутні також істотні недоліки. Незахищений поверхневий шар ґрунту швидко втрачає вологу у посушливий період. Після опадів утворюється поверхнева кірка, що перешкоджає збагаченню ґрунту повітрям і спричинює його висушування. Значно скорочується поповнення ґрунту поживними речовинами тощо. Для компенсації переліче-

© І.В. Тимошок, В.О. Соколов, Р.В. Шатров, 2015

них негативних явищ технологія передбачає встановлення системи краплинного зрошування з можливістю одночасного підживлення рослин. Це вимагає значних додаткових капітальних вкладень, експлуатаційних та амортизаційних витрат і до того ж може бути причиною засолення ґрунтів [6]. Крім того, гербіциди потрапляючи на стовбури культурних рослин, листя гілок, що звисають, та у ґрунт, можуть пригнічувати ріст і розвиток, а накопичившись у плодах, зашкодити здоров'ю споживачів [5].

Альтернативним і найбільш ефективним способом утримування ґрунту в садах та ягідниках є укриття пристовбурних смуг шаром мульчі, котра зменшує випаровування вологи, захищає корені рослин від підмерзання, покращує їх живлення, сприяє поліпшенню структури ґрунту, попереджує утворення поверхневої кірки, послаблює добові коливання температури, пригнічує проростання бур'янів, підсилює мікробіологічні процеси та ін. [2, 4, 7].

Мульчувальними матеріалами можуть бути тирса, стружка, треста льону, подрібнені гілки, трава, солома або їх суміш, використані грибний субстрат і підстилка, що накопичується у процесі утримування тварин, тощо.

Аналіз останніх досліджень. У молодому саду до залуження міжрядь тверді органічні добрива рекомендується вносити гноєрозкидачами загального призначення 1ПТУ-4, РОУ-5, РОУ-6, РОД-6 та ін. [3]. На жаль, ними не можна вносити добрива або мульчу у пристовбурні смуги локально, що істотно знижує ефективність даної технологічної операції, а після залуження міжряддя виконання її взагалі недоцільне.

Відомий розкидач мінеральних та органічних добрив іспанської фірми Industrias David S.L.U. з приставкою для внесення органіки у пристовбурні смуги садів [9]. Однак через особливості конструкційних параметрів своїх робочих органів він не може забезпечити внесення необхідної кількості органіки на всю поверхню смуги. Крім того, переважна більшість господарств не має коштів для закупівлі дорогої імпоротної техніки.

З огляду на зазначене, найбільш доцільно та економічно виправдано вирішити цю проблему, розробивши та впровадивши у виробництво машину, яка б легко монтувалась на широко розповсюджені розкидачі твердих органічних добрив типу РОУ-6. Це дозволило б мінімізувати витрати, пов'язані з виконанням даної операції, та зробило б їх більш універсальними у використанні.

Мета досліджень – забезпечення необхідної якості та надійності виконання технологічної операції внесення сипкого субстрату у пристовбурні смуги багаторічних насаджень шляхом обґрунтування технологічної та конструкційної схем машини.

Дослідження проводилися із застосуванням методів абстрагування та формалізації. Було проаналізовано можливість використання одного з трьох найбільш прийнятних робочих органів: лопатевого ротора, шнека або стрічкового транспортера (рис. 1).

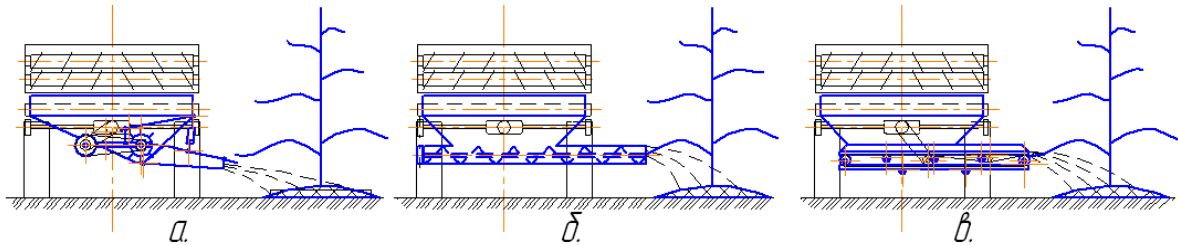


Рис. 1. Можливі робочі органи машини для внесення субстрату: а – ротор, б – шнек, в – стрічка.

Розрахунки виконувались наближено, без урахування опору повітря. Основні вихідні дані: ширина міжрядь (l) – 4 - 5, середня ширина смуги субстрату (b) – 1,5 м, норма внесення (W) – 150 - 600 м³/га, максимальна швидкість руху агрегату при максимальній нормі внесення ($V_{max.аг.}$) – 0,7 м/с.

Результати досліджень. Розглядаючи можливість використання роторного робочого органу задля спрощення схеми передачі крутного моменту будемо брати до уваги тільки варіант його розташування у вертикальній площині (рис. 1а). Визначимо, яку початкову швидкість у горизонтальному напрямку (V_0) необхідно надати умовним часткам субстрату, якщо припустити, що дальність їх польоту (S) повинна становити близько 3,0 при висоті відриву (h) 0,4 м (тут і далі параметри просторового розміщення робочого органу обирались виходячи з його можливого конструкційного виконання).

$$\begin{cases} S = V_0 t \\ h = \frac{gt^2}{2} \end{cases}, \text{ або } \begin{cases} V_0 = \frac{S}{t} \\ t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \end{cases}, \text{ або } V_0 = \frac{S}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \frac{3}{\sqrt{\frac{2 \cdot 0,4}{9,81}}} = 10,5 \text{ м/с.} \quad (1)$$

Відтак, при діаметрі ротора 0,4 м частота його обертання повинна становити:

$$n = \frac{V_0}{2\pi R} = \frac{10,5}{2\pi \cdot 0,2} = 8,4 \text{ с}^{-1} = 504 \text{ хв}^{-1}, \quad (2)$$

Проаналізуємо умови потрапляння часток субстрату в робочу зону ротора. У процесі роботи відцентрова сила, що намагається викинути субстрат за межі ротора, не повинна перевищувати силу тяжіння, під дією якої частки потрапляють у його робочу зону:

$$\frac{mV^2}{R} \leq mg, \text{ або } V \leq \sqrt{Rg} = \sqrt{0,2 \times 9,81} = 1,4 \text{ м/с} \quad (3)$$

Отже, розрахована лінійна швидкість ротора, яку можна вважати приблизно рівною початковій швидкості руху умовних часток субстрату (10,5 м/с), більше ніж у 7 разів перевищує визначену гранично допустиму. Для усунення цього явища необхідно передбачити додатковий живильний пристрій, наприклад, шнековий, який би подавав субстрат на лопаті ротора вздовж осі його обертання, а це може значно ускладнити конструкцію, чого ми повинні уникати. Відтак робочий орган роторного типу в нашому випадку використовувати нецільно.

В разі застосування шнекового органу (рис. 1,б) мінімально допустима дальність польоту часток субстрату може становити 1,0 м. Використавши формулу (1), знайдемо початкову швидкість часток у момент їх відриву від шнека, розміщеного на висоті 0,5 м над поверхнею ґрунту: $V_0 = 3,1$ м/с.

Беручи до уваги існуючі рекомендації, для забезпечення максимальної продуктивності при мінімальних обертах вала зовнішній діаметр шнека (D) і крок гвинта ($S_{\text{св}}$) повинні становити 0,4 м [8].

Припустимо, що умовна частка субстрату рухається вздовж кожуха шнека прямолінійно, тоді швидкість його обертання (n) має бути:

$$n = \frac{V_0}{S_{\text{св}}} = \frac{3,1}{0,4} = 7,75, \text{ с}^{-1} = 465 \text{ хв}^{-1} \quad (4)$$

Даний показник перевищує рекомендовану швидкість обертання шнека (80–200 хв⁻¹) більше ніж у 2 рази, що ставить під сумнів можливість його використання [8]. Додатково визначимо, на яку висоту ($h_{\text{ш}}$) підніметься частка субстрату, якщо при взаємодії з зовнішнім краєм шнека вона набуде такої ж початкової швидкості ($V_{\text{ш}}$), спрямованої вертикально вгору:

$$h_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{ш}}^2}{2g} = \frac{(\pi D n)^2}{2g} = \frac{9,73^2}{2 \times 9,81} = 4,8 \text{ м} \quad (5)$$

Враховуючи те, що для завантаження субстратом шнек має бути відкритим зверху, визначена частота його обертання призведе до розкидання речовини в усі боки, а не переміщення в необхідному напрямку. Таким чином, використання шнеку як робочого органу також не може задовольнити вимоги до роботи машини.

Розглянемо можливість застосування стрічкового транспортера (рис. 1,в). У черговий раз використавши формулу (1), визначимо необхідну початкову швидкість руху умовної частки субстрату в горизонтальному напрямку для забезпечення її польоту на відстань 1,5 м при розміщенні робочої поверхні стрічки транспортера на висоті 0,5 м: $V_0 = 4,7$ м/с. Розрахована швидкість руху стрічки дещо перевищує рекомендовану максимальну межу (4,5 м/с) для зернових

транспортерів [8], однак перевищення не значне і визначений показник може бути прийнятним.

При обчисленні ширини стрічки транспортера ($b_{mp.}$) будемо виходити з того, що його продуктивність ($Q_{max.mp.}$) не повинна бути нижчою від розрахункової максимальної продуктивності агрегату ($Q_{max.ag.}$), тобто:

$$Q_{max.mp.} \geq Q_{max.ag.}, \text{ або } V_{mp.} h_{max.mp.} b_{mp.} \geq \frac{W_{max.} l_{max.} V_{max.ag.}}{10000}, \text{ звідки:} \quad (6)$$

$$b_{mp.} \geq \frac{W_{max.} l_{max.} V_{max.ag.}}{10000 V_{mp.} h_{max.mp.}} = \frac{600 \times 5,0 \times 0,7}{10000 \times 4,7 \times 0,1} = 0,45 \text{ м} \quad (7)$$

де: $W_{max.}$ – максимальна норма внесення субстрату на 1 га, $l_{max.}$ – максимальна ширина міжряддя, $V_{max.ag.}$ – максимальна швидкість руху агрегату, $V_{mp.}$ – швидкість стрічки транспортера, $h_{max.mp.}$ – висота шару субстрату в момент його сходження зі стрічки.

Таким чином, використання транспортерної стрічки шириною 0,5 м повинно задовольнити поставлені вимоги і є прийнятним способом забезпечення компактності майбутнього робочого органу.

Знову ж таки з міркувань зменшення ваги та габаритних розмірів машини виберемо мінімально можливий діаметр обох барабанів транспортера – 0,15 м [8].

Визначимо частоту обертання зрушувального барабану для забезпечення необхідної швидкості руху стрічки транспортера.

$$V = \omega R = 2\pi n R, \text{ звідки } n = \frac{V_{mp.}}{2\pi R} = \frac{4,7}{\pi 0,15} = 9,98 \text{ с}^{-1} \approx 600 \text{ хв}^{-1}. \quad (8)$$

Очевидно, забезпечити приведення даного робочого органу при дотриманні визначених конструкційних параметрів та режиму роботи машини можна за допомогою звичайних ланцюгових механізмів.

Висновки

Виходячи з зазначених критеріїв оцінки, а саме: надійність роботи і якість виконання технологічної операції, а також мінімізація витрат, доцільно виготовити машину в монтованому варіанті. При цьому як базову машину слід використати поширений у виробництві розкидач твердих органічних добрив типу РОУ-6.

Його робочий орган доцільно виконати у вигляді стрічкового транспортера з шириною стрічки 0,5 м та частотою обертання приводного барабану близько 600 хв^{-1} , при чому, діаметр останнього повинен становити 0,15 м.

Зрушувати транспортер раціонально від поздовжнього валу базової машини, який приводиться безпосередньо від ВВП трактора, а як механізм зміни крутного моменту використати прості та надійні ланцюгові передачі.

Список літератури

1. Анциферов Ф.Е. Машины для садоводства / Ф.Е. Анциферов, Л.И. Ярошенко, И.В. Теплинский. – Ленинград: Лениздат, 1990. – 303 с.
2. Дадикин В. Накормите сад / В. Дадикин // Наука и жизнь. – 2003. – №5. – С. 122–127.
3. Довідник з механізації садівництва / [Демидко М.О., Бабенко А.Є., Бабій В.П. та ін.]. – К.: Урожай, 1988. – 230 с.
4. Лисанюк В.Г. Якщо про яблуньку по-батьківські подбаєш, вона віддячить щедрим урожаєм / В.Г. Лисанюк // Сад, виноград і вино України. – 2005. – №8-10. – С. 12–25.
5. Пчелкина Н.Г. Раундап в интенсивном яблонево́м саду на юге Украины / Н.Г. Пчелкина // Садоводство и виноградарство. – 2004. – №4. – С. 12.
6. Славінський В. Особливості поверхневого обробітку ґрунту в садах за інтенсивною технологією із застосуванням крапельного зрошення / В. Славінський // Техніка АПК. – 2008. – №9-10. – С. 37–38.
7. Соломахин А.А. Перспективная обработка приствольных полос в семечковых садах / А.А. Соломахин, Т.Г. Алиев // Садоводство и виноградарство. – 2006. – №5. – С. 10–12.
8. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Т.1 / [П.У. Бахтин, М.Ф. Бурмистрова, Б.А. Воронюк и др.] ; под. ред. М.И. Клецкина. – [2-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1967. – 722 с.
9. *Esparcidores de estiercol y abono*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.industriasdavid.com/index.php?command='printPage',style:'industriasdavid',pageId:'6',sectionId:'3'}](http://www.industriasdavid.com/index.php?command='printPage',style:'industriasdavid',pageId:'6',sectionId:'3').

С целью обеспечения необходимого качества и надежности выполнения технологической операции внесения сыпучего субстрата в приствольные полосы многолетних насаждений обосновано конструктивную и технологическую схемы машины для его внесения.

Приствольные полосы, содержание почвы, мульчевальный субстрат, машина, рабочие параметры.

On purpose of ensuring necessary quality and reliability of technological operation performance of loose substratum fertilizing into under trunk strips of long-term plantings the constructional and technological schemes of machine for loose substratum fertilizing into under trunk strips of long-term plantings is substantiated.

Under trunk strips, maintenance of soil mulching substratum, machine, working parameters.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ НА ОСНОВІ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОДИНИЦЬ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

**М.Ф. Ковальов, кандидат технічних наук
Національний транспортний університет**

В статті розглянуті особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць машин для лісотехнічних робіт.

Відновлення, працездатність, лісова машина.

Постановка проблеми. На характер зміни технічної готовності (діла – ТГ) системи та її елементів впливають різні фактори, і в першу чергу, такі як надійність технічних засобів, експлуатації, інтенсивність використання тощо. Однак, характер змін ТГ буде визначатися головним чином операціями технічного обслуговування і ремонту (далі – ТОР), так як їх реалізація забезпечує досягнення технічного стану (далі – ТС) по призначеному ресурсу працездатності.

Аналіз останніх досліджень. Необхідно підкреслити, що характеристика поняття ТГ буде повною в тому випадку, якщо вона буде враховувати не тільки оцінку фактичного стану ресурсу [1], але й витрати [2], які пов'язані з відновленням ресурсу працездатності, тобто враховувати показники працездатності [3]. В загальному випадку ТГ об'єкта можна характеризувати залишковим призначенням ресурсом [4], величиною витрат [5] на повне поновлені витрачених раніш ресурсів елементів об'єкту $Q_P(t_n)$ – функції часу експлуатації (напрацювання) – t_n або величиною витрат [6] на прогнозований період експлуатації $Q_P(t_n)$ у функції періоду, що прогнозується t_n [7].

При такому підході до аналізу змісту поняття ТГ буде оцінюватись величиною залишкового ресурсу $t_{зал.}$ для запропонованого періоду перебування у стані, що аналізується – t [8, 9]. В цьому випадку в якості кількісного показника ТГ можна розглянути ймовірність виробітки залишкового ресурсу $t_{зал.}$ за час $t: P(t \leq t_{зал.})$ або величину витрат на поновлення витрачених за час t ресурсів елементів та вузла машини для лісотехнічних робіт ТСО: $Q_P(t)$ [10].

© М.Ф. Ковальов, 2015

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць машин для лісотехнічних робіт.

Результати досліджень. Оцінка ТГ системи в цілому, з обліком запропонованого підходу в оцінці ТГ елементів системи, пов'язана з визначенням сумарної трудомісткості ТО та ремонту $H(\tau)$ за час:

$$H_{mo}(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO}, \quad (1)$$

де: $j=1, \dots, N$ – кількість елементів, які підлягають ТО та ремонту за визначений період (τ – рік, протяжність, весь період експлуатації);

$i=1, \dots, n$ – кількість видів ТО j -го елемента машини, які виконуються за визначений період;

H_{ij}^{TO} – трудомісткості i -го виду ТО j -го елемента машини за визначений період τ люд год).

Аналогічно сумарна трудомісткість ремонтів дорівнює:

$$H_P(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P, \quad (2)$$

де: $k=1, \dots, m$ – кількість видів ремонтів системи, які виконуються за означений період τ .

H_{kj}^P – трудомісткості k -го ремонту j -го елемента системи за означений період (люд год).

Звідси випливає:

$$H(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P. \quad (3)$$

Сумарна трудомісткості технічного обслуговування та ремонтів за означений період експлуатації враховує сумісний вплив властивостей довгостроковості, безвідмовності та ремонтоздатності і достатньо щільно відображає ефективність управління ТГ систем та їх елементів.

Час та трудомісткість ТОР системи об'єктивно визначає характер змін ТГ її основних елементів. Одним з показників оцінки ТГ можуть служити коефіцієнти, які характеризують зміни ТС системи в залежності від ресурсів основних елементів системи $t_{зал}$ та $t_{назн}$ та часу експлуатації:

$$K_{TG} = \frac{t_{зал}}{t_{назн}}, \quad (4)$$

де: $t_{зал}$ та $t_{назн}$ – відповідно залишковий та назначений ресурс.

Залишковий ресурс $t_{зал} = t_{назн} - t_{в}$, де $t_{в}$ – витрачений ресурс. Витрачений ресурс можна представити добутком швидкості витрачення ресурсу на фактично відпрацьований час (термін служби) або напрацювання T :

$$K_{ТГ} = \frac{t_{назн} - t_{в}}{t_{назн}} = 1 - \frac{V_s T}{t_{назн}}. \quad (5)$$

Якщо прийняти $K_{ТГ}$ рівним 0, то момент повного вичерпання об'єктом ресурсу (досягнення ГС) буде дорівнювати:

$$t_{pi} = \frac{t_i}{V_{si}}, \quad (6)$$

де: t_{pi} – час до початку j відновлення системи, визначене як прогнозуємий залишковий термін служби i -го елемента системи до ремонту;

t_i – запас ресурсу i -го елемента;

V_{si} – термін вичерпання ресурсу i -го елемента.

Час початку j -го ремонту слід встановлювати за базовими та основними елементами машини для лісотехнічних робіт, які мають на момент часу оцінки найменший ресурс і для яких $K_{ТГ}$ буде наближено або дорівнювати мінімальному значенню залишкового ресурсу.

Виводити систему з експлуатації для відновлення рівня ТГ слід при одному й тому ж значенню $K_{ТГ}$, так як при $K_{ТГ} < K_{ТГ\min}$ можуть виникнути аварійні ситуації.

Передчасний вивід системи у ремонт знижує її показники функціонування, збільшує витрати на відновлення та підтримку ТГ системи.

В розвиток визначеного поняття технічної готовності складної технічної системи під технічною готовністю машини для лісотехнічних робіт або підсистем до виконання заданих функціональних задач будемо розуміти характеристики їх ТС, при яких протягом визначеного часу машина для лісотехнічних робіт або підсистеми будуть спроможні виконувати ці задачі з ймовірністю, яка визначається призначеним ресурсом працездатності.

Висновок. Проведений вище аналіз різних підходів до оцінки ТГ, факторів та особливостей, які впливають на цей показник, говорить про їх варіантності на різних рівнях – вузли, деталі, підсистеми та відмінності в залежності від режимів та умов експлуатації.

Список літератури

1. Молодик М.В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин у сільському господарстві / М.В. Молодик. – Кіровоград : Вид-во КОД, 2009. – 180 с.
2. Канарчук В.Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. – У 3-ох кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія : підручник / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. – К.: Вид-во "Вища школа", 1994. – 342 с.
3. Ащеулов А.В. Анализ интенсивности отказов гидравлического оборудования / А.В. Ащеулов // Гидравлика пневматика и приводы. – 2010. – № 1 (3). – С. 8–9.
4. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.budinfo.org.ua/doc/1812459/DSTU-2860-94-Nadiinist-tekhniki-Termini-taviznachennia/>
5. Даршт Я.А. Методы и модели автоматизированного анализа и синтеза элементов гидропривода : дис. доктора технических наук : 05.13.12 / Даршт Яков Адольфович. – Владимир, 2005. – 426 с.
6. Динаміка об'ємних гідропневмосистем загальнопромислового призначення / З.Я. Лур'є, О.І. Гасюк. – Х.: НТУ "ХПІ", 2008. – 112 с.
7. Андренко П.М. Розвиток наукових основ проектування апаратів з гідравлічною осциляцією для систем гідроприводів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.02.08 "Машинознавство" / П.М. Андренко. – К., 2009. – 35 с.
8. Ремарчук М.П. Енергозберігаючі силові передачі будівельно-дорожніх машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.05.04 "Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт" / М.П. Ремарчук. – Х., 2008. – 36 с.
9. Рыбак А.Т. Моделирование и оптимизация гидромеханических систем мобильных машин и технологического оборудования : автореф. дис. на соискание степени доктора техн. наук : спец. 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» / А.Т. Рыбак. – Краснодар, 2008. – 46 с.
10. Старых А.А. Синтез нелинейного регулятора системы управления параметрически неопределенным объектом : автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / А.А. Старых. – Томск, 2009. – 19 с.

В статье рассмотрены особенности аналитических подходов к обоснованию модели оценки технической готовности на основе остаточного ресурса единиц машин для лесотехнических работ.

Восстановление, трудоспособность, лесная машина.

In paper the considered features of analytical approaches to justification of model of assessment of technical readiness on basis of residual resource of units of mashines for timber works.

Restoration, working capacity, forest mashine.

АНАЛІТИЧНІСТЬ СТВОРЕННЯ ТЕОРІЇ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНЖЕНЕРНОГО МОНІТОРИНГУ В АПК

***В.Н. Большаков, кандидат юридичних наук
В.В. Іщенко, кандидат технічних наук***

У статті розглядається вплив правового регулювання інженерного моніторингу при дослідженні інтелектуальної власності.

Моніторинг, метод, власність, інженерія.

Постановка проблеми. Необхідність розробки теорії правового регулювання моніторингу витікає з неспростовно доведеної досвідом розвитку суспільства, висловленої нечисленною кількістю відомих вельмишановних політиків, починаючи з древніх часів до сьогодення аксіомою про те, що будь-який мудрий державний діяч завжди підтримає будь-які форми отримання таємних даних з-за кордону, не зупиняючись перед порушенням чужих законів. При цьому, порушення законів повинно здійснюватися у межах крайньої необхідності і в межах крайньої необхідності. Згідно тлумачного словника Вебстера визначення крайньої необхідності в наступному: "крайня необхідність – сукупність логічних чи моральних умов для неминучого чи обов'язкового здійснення визначених дій." Зазначене підтверджується, уточнюється та корегується положеннями ст39.КК України: «Не є злочином заподіяння шкоди інтересам, що охороняються правом у стані крайньої необхідності, ... якщо це не можливо ліквідувати будь-якими іншими засобами без перевищення меж крайньої необхідності. Створення лідерних та проривних інновацій визначає забезпечення розробників сільськогосподарської техніки, творців нових сортів рослин, видів сільськогосподарської худоби тощо інформацією про світові пороги наукових і науково-технічних знань. Це завдання вирішується з використанням бенчмаркінгу – високоефективнішого різновиду моніторингу, який представляє собою сукупність засобів отримання інформації для створення лідерних і проривних технологій як основи довготривалої конкурентоздатності. Але інформація про світові наукові і науково-технічні пороги знань та розробки на їх основі технічних і наукових рішень (лідерні і проривні інновації) є власністю фірми і, як правило, конфіденційною. Отримання цієї інформації для вітчизняних розробників в межах існуючих правовідносин традиційними відкритими методами не є можливим. Це робить традиційний моніторинг малоефективним і вимагає введення нових

© В.Н. Большаков, В.В. Іщенко, 2015

взаємозв'язків та відповідних правовідносин. В той же час методи правового регулювання моніторингових дій при бенчмаркінгу на сучасному етапі розвитку нашої країни відсутні. Наукові дослідження з цього питання практично не проводяться. Разом з тим потрібна систематизація об'єктів і суб'єктів правовідносин, введення нових категорій розробки методично-наукового інструментарію системного правового регулювання моніторингової діяльності у вигляді бенчмаркінгу для вирішення даної проблеми.

Зазначене свідчить про необхідність створення теорії правового регулювання моніторингу.

Аналіз останніх досліджень. Ця теорія повинна створюватися з використанням теорії розвідки, створеної перед Першою Світовою війною. У широкому сенсі термін «теорія» виражає комплекс поглядів, уявлень, ідей, направлених на пояснення будь-яких явищ [1, С. 507]. Згідно існуючих методологічних наробок теорія правового регулювання моніторингу може бути визнана як узагальнення предметно-практичної діяльності людей, що утворює систему елементів, сукупність наукових положень, що необхідні для опанування певною діяльністю [1, С. 507], в якій на сучасному етапі розвитку суспільства зазначена теорія правового регулювання моніторингу якій повинен бути у вигляді бенчмаркінгу, повинна включати в себе наступні елементи в якій елементу, що визначає субординацію (бенчмаркінгу) підпорядковані всі інші, що пояснюють виникнення, взаємозв'язки сутність і закономірність розвитку об'єкта дослідження. Основним положенням зазначеної теорії є наступне: моніторинг в АПК в межах правового регулювання повинен постійно і безперервно забезпечувати отримання інформації з метою створення знань про проривні та лідерні технології, особливості ринків продукції АПК (плани і концепції розвитку лідерів ринку та про їх відношення до продукції і можливостей АПК України), концепції розвитку відносин розвинених країни та їх ведучих фірм в АПК та супутніх галузей, літературні джерела (газети, звіти тощо) про розвиток АПК в конкретній країні та відносини з АПК України. При цьому моніторинг є найефективнішим дослідницьким методом будь-якої науки. Запропонована теза в обговорюється у даній статті.

Зазначене підтверджується тим, що в самому найближчому майбутньому моніторинг, як функція менеджменту, в будь-якій галузі економіки, зокрема в АПК, розглядатиметься як інформаційно-аналітичне забезпечення комплексного управління підприємницькими ризиками [2, С. 30].

Також, на думку фахівців (згідно висновкам відомих фахівців розвинених країн), наступний індустріальний прорив стане можливим завдяки та на основі використання результатів моніторингових досліджень у широкому розумінні цього процесу [3, С. 5–9; 4, С. 23–

32; 5, С. 145–146; 6, С. 7–13; 7, С. 2–7], що є обґрунтування теорії правового регулювання моніторингу.

На думку експертів з США, особливої гостроти проблемі промислового шпигунства додає той факт, що він поставлений на державну основу. Зі 173 країн світу державні інстанції як мінімум 57 активно займаються збором секретної інформації, що належить на правах власності американським компаніям. А уряди ще як мінімум 100 країн витрачають частину свого ВВП на покриття витрат, викликаних промисловим шпигунством. Особливо відрізняються в цьому Німеччина, Японія і Франція, але їх вже наздоганяють Росія, Китай і Південна Корея. Всі країни, які беруть участь в полюванні за чужими секретами, умовно можна розділити на дві категорії: ті, які можуть дозволити собі розкіш використовувати всі сучасні методи технічної розвідки; ті, які покладаються лише на особистісний фактор своїх агентів [8].

Методи шпигунства варіюються від традиційних (крадіжки, підкуп) до сучасних, з використанням високих технологій. Для досягнення результату застосовуються всі мислимі і немислимі способи і шляхи, як то: злиття і поглинання, спільні підприємства та партнерства, міжнародні програми обмінів та громадські організації. Втягнуті у видобуток чужих секретів державні служби активно вербують іноземних студентів і службовців, перекладачів, консультантів, лобістів, журналістів і т.п. Використовуються різні міжнародні форуми: виставки, ярмарки, наукові симпозиуми та конференції. Зазначені методи, згідно своїх класифікаційних ознак є методами моніторингу у вигляді бенчмаркінгу у межах правового регулювання.

За словами колишнього директора ЦРУ Гейтса (1991–1993), в даний час безпеку ділової інформації все частіше опиняється під загрозою, причому джерел небезпеки стає все більше. Неприємностей можна чекати як з боку організованих злочинних синдикатів і терористів, так і від розвідувальних центрів, фінансованих урядом.

Під час свого виступу на організованій асоціацією InformationTechnologyAssociationofAmerica міжнародній конференції фахівців з безпеки інформації, яка пройшла в середині 2000 року, Гейтс зауважив, що в сучасному світі міць країни визначається в першу чергу її економічними можливостями, тому численні розвідувальні служби приділяють питанням бізнесу все більш серйозну увагу. Уряду фінансують операції, в ході яких вивчається діяльність різних компаній, збираються відомості про намічені контракти, узагальнюється інформація про фінансове становище організацій та банківських операціях, аналізуються події, які можуть позначитися на формуванні цін на світових ринках [8].

Результати досліджень. «Відповідні структури прагнуть володіти повною інформацією про стан ринку, а також даними про технологію виробництва і часто готові поділитися нею з компаніями своєї країни», – підкреслив Гейтс, який обіймає нині посаду декана Школи державної та суспільної служби імені Буша при Техаському університеті. Для отримання важливих відомостей розвідувальні служби активно використовують численні методи, розроблені в період «холодної війни».

До цих методів можна віднести, наприклад, прослуховування телефонних розмов та аналіз документів, надісланих бізнесменами в номерах готелів в ході ділових поїздок. Розвідслужби впроваджують в компанії агентів, які крадуть або потайки копіюють файли з недостатньо захищених комп'ютерів. Деякі підрозділи мають у своєму розпорядженні складні засоби перехоплення, що дозволяють розшифровувати навіть закодовану інформацію, що пересилається по корпоративних каналах зв'язку. Особливо вразливі повідомлення, зашифровані з використанням застарілих технологій. Секретні відомства регулярно аналізують телекомунікаційний трафік, а також інформацію, що пересилається через комп'ютери, в тому числі і електронну пошту.

«Мабуть, найбільш досвідченою в цьому відношенні є французька розвідувальна служба», – зазначив Гейтс. Втім, вона аж ніяк не самотня. Росія, Китай, Південна Корея, Індія, Пакистан, Німеччина, Ізраїль і Аргентина також займаються збором розвідувальної інформації в інтересах національних компаній. До цього переліку можна додати багато інших країн.

Класичний приклад економічного шпигунства – отримала розголос «прослушка» у жовтні 1995 року ЦРУ торгових переговорів між Японією і США про можливі тарифах на японські автомобілі представницького класу. Звіти, засновані на звукозапису, були потім передані торговому представнику Сполучених Штатів. Американці стверджують, що таємно зібрана інформація не призначався для використання великими компаніями – грубо кажучи, ЦРУ не працював за замовленням «Дженерал моторс», а отримані дані були віднесені до категорії інформації, що становить національний інтерес.

Інший приклад, використання системи «Ешелон» для потреб американського бізнесу. Так, у 1990 році двохсотмільйонна телекомунікаційна угода між Індонезією і японською NEC засмутилася після того, як Агентство національної безпеки (АНБ) перехопило переговори учасників. Тодішній президент Джордж Буш був у курсі. Контракт у результаті був поділений між NEC і американської AT&T. У 1994 році «Ешелон» стежив за переговорами між Бразилією і французької телекомунікаційної компанією Thomson, у підсумку

1,3-мільярдний контракт пішов до американської корпорації Raytheon. Хоча шпигують не тільки американці, але і їх постійні партнери – канадці. Нещодавно стало відомо, що ще в 80-ті роки минулого століття Канада, підслухавши американців, включаючи ряд посольств США, перехопила 2,5-мільярдний контракт на поставку зерна в КНР [8].

Західноєвропейські спецслужби теж охоче допомагають приватному бізнесу. Так, уряд Швеції допомагає шведським компаніям вести комерційну розвідку. Посольства Швеції регулярно постачають «рідним» фірмам відомості як економічного, так і політичного характеру (в останні роки акцент був зміщений з політики на економіку).

Французький уряд також тісно співпрацює з корпораціями. Окремі експерти стверджують, що французи схильні скоріше розвідати комерційні таємниці конкурента, ніж зібрати і проаналізувати ділову інформацію. Так, згідно з повідомленнями ЗМІ, французькі урядовці прослуховували розмови пасажирів авіакомпанії AirFrance за допомогою жучків, вмонтованих в літакові крісла. Зрозуміло, що підтвердити або спростувати цю інформацію вкрай складно. Значну роль в отриманні економічно значимої інформації грають методи і засоби виявлення інформації з відкритих джерел, тобто методи аналітичного дослідження інформаційних джерел.

Загальновідомо, що роль відкритих джерел в економічній розвідці велика. У деяких областях економічного аналізу 95% використовуваної інформації отримують саме з офіційних статистичних публікацій, повідомлень ЗМІ, експертних оцінок МВФ по країнах.

Головний постачальник відкритих вихідних матеріалів у межах ЦРУ – Інформаційна служба іноземних трансляцій (FBIS), яка підпорядковується директорату з науки і техніки. FBIS вибірково транслює і отримує інформацію з великої кількості радіо- і телепередач, газет, науково-технічних та публіцистичних часописів, комерційних баз даних, книг, підпільної літератури. При цьому негласна діяльність ЦРУ також включає агентурну розвідку (HUMINT), космічну зйомку (IMINT) і радіорозвідку (SIGINT). Космічна зйомка включає супутникові зображення. Наприклад, коли США зацікавилися іракськими запасами нафти, супутникова зйомка іракських родовищ нафти допомогла зусиллям розвідки.[8] При цьому зазначений метод, є методом стеження, легальним і відноситься до методів і засобів моніторингу в межах правового регулювання.

Економічні правопорушення і корупція щорічно забирають у компаній США 260 млрд. доларів всередині країни і ще 140 млрд. доларів в зарубіжних операціях. І ці цифри щорічно збільшуються. Згідно з відомостями «Американського товариства промислової безпеки» (ASIS), починаючи з 1985 року число випадків шпигунства що-

до промислових галузей США зросла на 260%. Нині кількість справ про економічне шпигунство, розслідуваних ФБР, збільшилася майже в два рази в порівнянні з 1994 роком. За період з 1998 по 2002 рік, за даними ФБР, число злочинів, що підпадають під статті законодавства про промислове шпигунство, збільшилася на 323%.

ASIS спільно з відомою аудиторською фірмою PriceWaterhouseCoopers (PWC) провела масштабне дослідження електронних компаній Силіконової долини, в результаті якого був зроблений висновок про наростання промислового шпигунства як усередині американського співтовариства високотехнологічних фірм (hightechcompanies – НТФ), так і між американськими та іноземними корпораціями. Згідно з цим дослідженням, в 1999 році тільки НТС, що входять в «клуб» високоприбуткових компаній Fortune 1000, зазнали збитків від крадіжок конфіденційної фірмової інформації в розмірі 45 млрд. доларів. Для порівняння: в 1995 році, згідно з оцінками ФБР, ці втрати становили тільки 24 млрд. доларів.

Якщо говорити про конкретні втрати, то досить навести такий приклад. В результаті крадіжки японськими конкурентами матеріалів, пов'язаних зі створенням перспективного літака із змінною геометрією крила, втрати американської компанії склали 3,5 млрд. доларів.

На думку американських спостерігачів, промислове шпигунство починає серйозно загрожувати національним інтересам найпотужнішою країни світу. Те, що США, де щорічні витрати на технологічні розробки і дослідження досягають астрономічної суми 600 млрд. дол., є основним об'єктом міжнародного корпоративного шпигунства, не дивує.

Як вважають у ФБР, в промисловому шпигунстві проти США беруть участь урядові секретні служби багатьох країн, включаючи найближчих союзників і партнерів. Під час слухань у Конгресі в травні 2002 року представники цього агентства, на яке покладено функції протидії корпоративному шпигунству ззовні, оголосило список 23 країн, де ця діяльність неофіційно здійснюється державними розвідувальними службами. У цьому списку поряд з Ізраїлем, Англією, Німеччиною, Францією значиться і Росія.

Американське суспільство індустріальної безпеки (ASIS) щорічно відзначає зростання числа великих американських корпорацій, які були порушені актами шпигунства. Найбільш привабливими виявилися секрети IBM (комп'ютери), CorningInc. (Спеціальні покриття, оптика і напівпровідники), HoneywellCorp. (Авіакосмічне обладнання), Eastman-Kodak (фотообладнання, в тому числі і для аерокосмічної зйомки), AT&T (зв'язок), GeneralElectric (електротехніка).

Фахівці називають декілька факторів, які змусили лицарів «плаща і кинджала» перетворитися на промислових шпигунів. З од-

ного боку, в останні роки стрімко зросла вартість інновацій - держави і великі корпорації змушені все більше коштів інвестувати в дослідницьку діяльність з важкопрогнозованою віддачею. С іншого боку, самі інновації мають тенденцію стрімко застарівати. Крім того, в передових країнах фундаментальна наука все тісніше зростається з великим бізнесом. В результаті виникла цікава ситуація: інвесторам економічно стало вигідніше вкладати кошти не в саму інноваційну діяльність, а в інфраструктуру з добування інформації про неї.

Зазначені висновки підтверджують необхідність теорії отримання інформації з відкритих джерел в межах правового регулювання методами моніторингу, найефективнішим з яких є бенчмаркінг сутність якого в наступному: «знайди найкраще в іншій галузі і використай в своїй».

Експерти відзначають: деідеологізація шпигунства призводить до того, що з розвідки поступово зникають люди глобального мислення, якими були радянський «нелегал» Абель або агент Філбі. Як свідчить колишній оперативник ЦРУ Бейер, «склалися занепадницькі настрої: всім здається, що золоті часи джеймсів бондів втрачені назавжди, беззубість і бездуховність паралізували людей».

Навіть якщо спецслужби задіють усі ресурси у боротьбі з міжнародним тероризмом, то число випадків промислового шпигунства буде стрімко зростати. Великі корпорації будуть інвестувати величезні кошти в цю сферу діяльності. Та й сумнівно, що провідні світові держави відмовляться від підтримки національних компаній [10].

Зазначене підтверджується висловами відомих теоретиків інформаційної та розвідлувальної діяльності: Сер Едвард Люгард – високопоставлений службовець міністерства оборони Великобританії.

Збирати і класифікувати всю можливу інформацію, що має відношення до сили, організації тощо іноземних армій, знайомиться з прогресом досягнутим іноземними державами у військовому мистецтві та науці, і тримати інформацію в такій формі, щоб з нею можна було ознайомиться при необхідності і використовувати для відповідних цілей [11, С. 254].

Заняття шпигунством незвичайно розширює знання людської душі, хоча і губить нас, перетворюючи в циніків. Хіба порядна людина стане заглядати в замкову щілину і збирати по зернятку інформацію, про яку сусід воліє умовчувати? Це можна виправдати під час війни, коли всі засоби хороші, та й то не кожен погодиться шпигувати, для більшості набагато простіше йти на передову [11, С. 268].

Висновок. Таким чином у запропонованій статті встановлено, необхідність створення теорії правового регулювання моніторингу як це узагальнення предметно-практичної діяльності людей, що утворює систему елементів, сукупність наукових положень, що необхідні

для опанування певною діяльністю, в якій елементу, що визначає субординацію (бенчмаркінгу) підпорядковані всі інші, що пояснюють виникнення, взаємозв'язки сутності і закономірності розвитку об'єкта дослідження. Основним положенням зазначеної теорії є наступне: моніторинг в АПК в межах правового регулювання повинен постійно і безперервно забезпечувати отримання інформації з метою створення знань про проривні та лідерні технології, особливості ринків продукції АПК (плани і концепції розвитку лідерів ринку та про їх відношення до продукції і можливостей АПК України), концепції розвитку відносин розвинених країни та їх ведучих фірм в АПК та сусідніх галузей, літературні джерела (газети, звіти тощо) про розвиток АПК в конкретній країні та відносини з АПК України.

Список літератури

1. Тлумачний словник української мови. – К.: Аконт, 1999. – Т.4. – С. 507, С. 941.
2. Манаков А. Тринадцятий знак / А. Манаков. – М.: ФиС, 1997. – С. 30, С. 332.
3. Большаков В.Н. Необходимость правового регулирования мониторингу в АПК Украины Держава та регіони / В.Н. Большаков // Серія: право. – 2007. – №1. – С. 145–146.
4. Тарас Ткачук. Методи конкурентної розвідки / Тарас Ткачук // Бизнес и безопасность. – 2006. – №3. – С. 80–84.
5. Александр Янковский. Антикризисный менеджмент / Александр Янковский // Бизнес и безопасность. – 2006. – №3. – С. 24–25.
6. Мусиенко Д. Экспертиза безопасности объекта / Д. Мусиенко // Бизнес и безопасность. – 2006. – №3. – С. 3–5
7. Костюхин А. Информационные операции в планах командования США / А. Костюхин, Г. Горбунов, А. Сажин // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – №5. – С. 7–13.
8. Доронин А.И. Бизнес-разведка / А.И. Доронин. – М.: Ось-89, 2003. – 2-е издание». – 230 с.
9. Р. Кэмп. Легальный промышленный шпионаж / Р. Кэмп. – Днепропетровск: Баланс- клуб, 2004. – С. 395.
10. Клим Дегтярев. Энциклопедия спецслужб. Инфофорум – Евразия 2007: кибервойна как реальность // http://www.itsec.ru/articles2/Inf_security/infoforum-eurasia-2007.
11. Федько В.. Философия специальных служб / В. Федько. – М.: Изд. дом «Княгиня Ольга», 2009. – С. 694.

В статье рассматривается влияние правового регулирования инженерного мониторинга при исследовании интеллектуальной собственности.

Мониторинг, метод, собственность, инженерия.

The paper examines the impact of regulation engineering monitoring in investigation of intellectual property.

Monitoring, method, property, engineering.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL В СИСТЕМІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

В.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров, кандидати технічних наук

З метою кількісної оцінки стрічкової і традиційної технологій обробітку ґрунту проведено обґрунтування ефективності їх використання.

Технологія, обробіток ґрунту, Strip-Till.

Постановка проблеми. Невід’ємною складовою вирощування сільськогосподарських культур є основний обробіток ґрунту. Поширеною в системі обробітку ґрунту в Україні є оранка. Це одна з найбільш енергоємких операцій. Так, при оранці середніх за питомим опором ґрунтів під зернові колосові культури на глибину 20–22 см витрачають близько 14–16 кг/га, а під кукурудзу – на глибину 25–27 см – 18–20 кг/га дизельного палива. До недоліків полицевого обробітку ґрунту (оранки), крім підвищених витрат праці й коштів, відноситься зменшення щільності ґрунту, яке може призвести до посилення ерозійних процесів. Водною і вітровою ерозією щороку виноситься в середньому 15 т/га родючого шару ґрунту.

В той же час обробіток ґрунту слід розглядати як вимушений захід. Якщо без нього не можна обійтись, його необхідно виконати з найменшим руйнуванням структури ґрунту (мінімізація обробітку), тобто поверхнєве рихлення на глибину близько 8 см (min Till).

Останнім часом все більшого поширення, завдяки використанню гербіцидів суцільної дії з коротким періодом розпаду (типу Раундап Класік), набуває нульовий обробіток ґрунту (No Till – сівба в необроблений ґрунт). Недоліки полицевого обробітку ґрунту стають перевагами для min Till і No Till.

Проте система землеробства min Till і No Till сприяє накопиченню у верхньому шарі ґрунту насіння бур’янів, шкідників і хвороб, створенню його гетерогенної структури і ущільненню, а це спричиняє до зменшення урожайності сільськогосподарських культур на 10–20%, особливо з глибоким (понад 3 м) проникненням кореневої системи (кукурудза, соняшник та ін.). На противагу цьому, завдяки оранці, створюється гомогенний (однорідний) шар ґрунту, сприятливий для розвитку кореневої системи і росту рослин.

У цьому аспекті перспективною є технологія Strip-Till, яка поєднує переваги відомих способів обробітку ґрунту – традиційного

© В.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров, 2015

Вигляд поля після обробітку (а) і сівби кукурудзи (б) подано на рис.



Для механізації технології Strip-Till компанія Ortman (США) пропонує 6–8 і 12-рядні агрегати, а компанія Amazone (Німеччина) – 8-рядні. Восьмирядні агрегати АСОГ-8 для стрічкового обробітку ґрунту виробляє також ТОВ «Краснянське СП «Агромаш»» (Вінницька область). За технологічною схемою, наявністю і розміщенням робочих органів ґрунтообробні агрегати вітчизняного виробництва істотно не відрізняються від зарубіжного.

310

Виробники техніки Strip-Till пропонують варіанти використання в одному агрегаті просапної сівалки для суміщення операцій обробітку ґрунту і сівби у стрічки, завдяки чому вдвічі зменшується кількість проходів агрегатів по полю. Сіяти в оброблений ґрунт можна також сівалками вітчизняного або зарубіжного виробництва.

Основним недоліком технології Strip-Till є необхідність попереднього внесення гербіциду суцільної дії типу Ураган чи Раундап. Проте ці додаткові витрати коштів на боротьбу з бур'янами є незначними в загальних витратах на обробіток ґрунту. До того ж при обробітку ґрунту за традиційною технологією, як правило, вносяться гербіциди проти відповідних видів бур'янів.

Аналіз останніх досліджень. У зв'язку з тим, що технологія стрічкового (смугового) обробітку ґрунту під просапні культури теоретично розроблена, пройшла виробничу перевірку і впровадження у сільськогосподарських підприємствах лише останнім часом, кількість відомих нам публікацій обмежена [1, 2, 3, 5], а результати розпорошені і недостатньо обґрунтовані. Відсутня комплексна порівняльна техніко-економічна оцінка стрічкової і традиційної технологій обробітку ґрунту, що утруднює прийняття науково обґрунтованих рішень. З огляду на зазначене, найбільш доцільно вирішити цю проблему техніко-економічним обґрунтуванням і комплексною оцінкою технологій обробітку ґрунту.

Мета досліджень – обґрунтувати ефективність енерго- і ресурсозбереження за рахунок використання стрічкової (смугової) технології обробітку ґрунту порівняно з традиційною.

Результати досліджень. Дослідження проводились методом обґрунтування техніко-експлуатаційних і економічних показників роботи машинних агрегатів і комплексної їх оцінки для різних технологій обробітку ґрунту. Вихідна інформація для розрахунків надавалась маркетинговими спеціалістами компаній-виробників сільськогосподарської техніки. Техніко-експлуатаційні розрахунки роботи машинних агрегатів і економічна оцінка технологій обробітку ґрунту здійснювались за програмою і методикою кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України [4].

Нами проведено порівняльну комплексну оцінку традиційної (оранка і передпосівний обробіток окремими агрегатами) і стрічкової технологій обробітку ґрунту на база вітчизняної і зарубіжної техніки (див. табл.).

Як свідчать дані розрахунків, економія за технологією обробітку ґрунту Strip-Till порівняно з традиційною на базі вітчизняної чи зарубіжної техніки істотно не відрізняється і орієнтовно знаходиться на такому рівні: затрат робочого часу 76%, витрати палива – 70%, пря-

мих експлуатаційних і приведених витрат – 60–70%. Слід відзначити, що за витратами робочого часу (праці) і палива вітчизняна техніка для технології Strip-Till дещо поступається зарубіжній, проте витрати коштів на одиницю роботи в 1,7–2 рази менші. Цим надається перевага вітчизняним виробникам техніки.

Техніко-економічні характеристики технологій обробітку ґрунту*.

Технологія		Склад агрегату		Економічні показники технологій з розрахунку на гектар				
		марка трактора	марка с.г. ма- шини	продук- тивність за годину змін- ного часу	затрати робо- чого часу, год.	витрати палива, кг	витрати коштів, грн.**	
							прямі экс- плуа- таційні	приведені
На базі вітчиз- няної техніки	Традиційна	ХТЗ	ПО-5	1,44	0,69	19,3	798,00	1061,76
		17222	АП-6	4,10	0,24	6,4	238,77	308,07
		Всього		0,93	25,7	1036,77	1369,83	
	Strip-Till	ХТЗ 250-10	АСОГ-8	4,50	0,22	7,9	328,86	439,32
	Економія технології Strip-Till порівняно з традиційною, %				76,3	69,3	68,3	67,9
На базі зарубіжної техніки	Традиційна	John Deere 7820	John De- ere 975 Farmet K 600	1,53	0,65	16,0	1028,37	1501,92
				4,40	0,23	5,3	380,94	565,95
		Всього		0,88	21,3	1409,31	2067,87	
	Strip-Till	John De- ere 8400	Ortman 8	4,8	0,21	6,1	568,26	872,34
	Економія технології Strip-Till порівняно з традиційною, %				76,1	71,4	59,7	57,8
Співвідношення показників технологій Strip-Till на базі вітчизняної і зарубіжної техніки, разів					1,05	1,30	0,58	0,50

*Розрахунки виконано за таких умов: питомий опір ґрунту 50 кН/м², глибина обробітку 27 см, довжина гону поля – 900 м.

**Розрахунки витрат коштів виконано за офіційним курсом НБУ умовної одиниці, рівним 21 грн.

Річний економічний ефект від впровадження стрічкової технології обробітку ґрунту визначається за такою формулою:

$$E_p = (P_{\text{вм}} - P_{\text{вс}}) \cdot S, \text{ грн.},$$

де: $P_{\text{вм}}$ і $P_{\text{вс}}$ – приведені витрати для традиційної і стрічкової технології обробітку ґрунту, грн/га; S – оброблювана площа, га.

З розрахунку на площу 1000 га маємо:

$$E_p = (1369,83 - 439,92) \cdot 1000 = 930510, \text{ грн.}$$

Таким чином, як свідчать теоретичне обґрунтування і практика, технологія стрічкового (смугового) обробітку ґрунту під просапні культури є енерго- і ресурсозберігаючою, а впровадження її економічно вигідне.

Агрегати вітчизняного виробництва АСОГ-8 успішно працюють в окремих господарствах Вінницької і Хмельницької областей. Технологія Strip-Till отримала схвальну оцінку в сільськогосподарських підприємствах різних регіонів України, зокрема Лат Агро (Сумська обл.), Рост Агро (Полтавська обл.), Олстас Льон (Чернігівська обл.) та ін. До речі, господарство Олстас Льон за цією технологією вирощує також озимий ріпак.

Висновки

1. Аналіз існуючих літературних джерел свідчить про обмеженість обґрунтованих порівняльних результатів досліджень технологій обробітку ґрунту.

2. Технологія Strip-Till поєднує основний і передпосівний обробіток ґрунту, а при потребі ще й внесення добрив і сівбу, що сприяє зменшенню кількості проходів агрегатів по полю, економії витрат праці, паливно-мастильних матеріалів і коштів.

3. Результати проведених нами досліджень свідчать, що економія за технологією обробітку ґрунту Strip-Till порівняно з традиційною на базі вітчизняної чи зарубіжної техніки істотно не відрізняється і орієнтовно знаходиться на такому рівні: затрат робочого часу 76%, витрати палива – 70%, прямих експлуатаційних і приведених витрат – 60–70%.

4. Встановлено, що за витратами робочого часу (праці) і палива вітчизняна техніка для технології Strip-Till дещо поступається зарубіжній, проте витрати коштів на одиницю роботи в 1,7–2 рази менші.

5. Наступні дослідження доцільно провести за комплексною оцінкою технології Strip-Till у поєднанні основного, передпосівного обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив і сівби просапних культур.

Список літератури

1. Жолобецький Г. Стрип-Тілл: шляхом проб і помилок / Г. Жолобецький // Пропозиція. – 02.2013. – С. 26–30.
2. Кравчук В. Технологія Strip-Till на вирощуванні сільськогосподарських культур / В. Кравчук, О. Броварець, М. Новохацький, Л. Шустік // Техніка і технології АПК. – 2014. – №4. – С. 7–12.
3. Гречкосій В.Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві : навчальний посібник / [Гречкосій В.Д., Войтюк В.Д., Шатров Р.В. та ін.]. – Ніжин: Виконавець: ПП Лисенко М.М., 2014. – 392 с.

4. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар та ін.]. – К.: Видавничий центр НАУ, 2004. – 151 с.
5. Strengthening bridges with prestressed CFRP strips. / Siwowski Tomasz I, Zyltowski Piotr I // Selected Scientific Papers: journal of Civil Engineering. – 2012, Vol. 7 Issue 1, P. 79–86.

С целью количественной оценки полосной и традиционной технологии обработки почвы проведено обоснование эффективности их использования.

Технология, обработка почвы, Strip-Till.

In order to quantify the tape and traditional technologies of processing conducted study the effectiveness of their use.

Technology, tillage, Strip-Till.

УДК 631.004.1

МЕТОДОЛОГІЧНІСТЬ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРИ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСАХ

І.Л. Роговський, кандидат технічних наук

В статті розкрито методологічний підхід до опису стохастичності забезпечення працездатності сільськогосподарських машин.

Працездатність, машина, стохастичність.

Постановка проблеми. Аналіз найбільш характерних математичних моделей відновлення працездатності сільськогосподарських машин показує, що вони дозволяють оцінювати вплив заходів з управління технічною готовністю тільки на окремі характеристики і властивості технічних вузлів і механізмів, при допущеннях, котрі не повністю відбивають умови експлуатації технічних систем в цілому. Так, у багатьох випадках, характеристики безвідмовності сільськогосподарських машин визначають функції тільки однієї періодичності виконання технічного обслуговування, при цьому повнота технічного обслуговування, ефективність технічного контролю та якості робіт не враховується. Для сільськогосподарських машин існує багатоетапне технічного обслуговування (профілактичні заходи виконуються

© І.Л. Роговський, 2015

багаторазово, мають різні види і номенклатуру технологічних операцій) й кожний вид відрізняється своїм значенням повноти відновлення працездатності, періодичністю та якістю технічного обслуговування.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження [1-8] присвячені побудові моделі технологічних процесів відновлення працездатності технічних систем й розробці типових функціональних структур, характерних для технічного обслуговування машин, на основі яких й вирішуються задачі оптимізації процесів технічного обслуговування машин.

Мета досліджень. Методологічні передумови оптимізації виконання технологічних операцій з відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах.

Результати досліджень. Моделювання реального процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин здійснюється у вигляді сукупності обмеженого набору типових функціональних технічних структур, для котрих розробляються математичні залежності для оцінки їх кількісних характеристик (рис. 1).

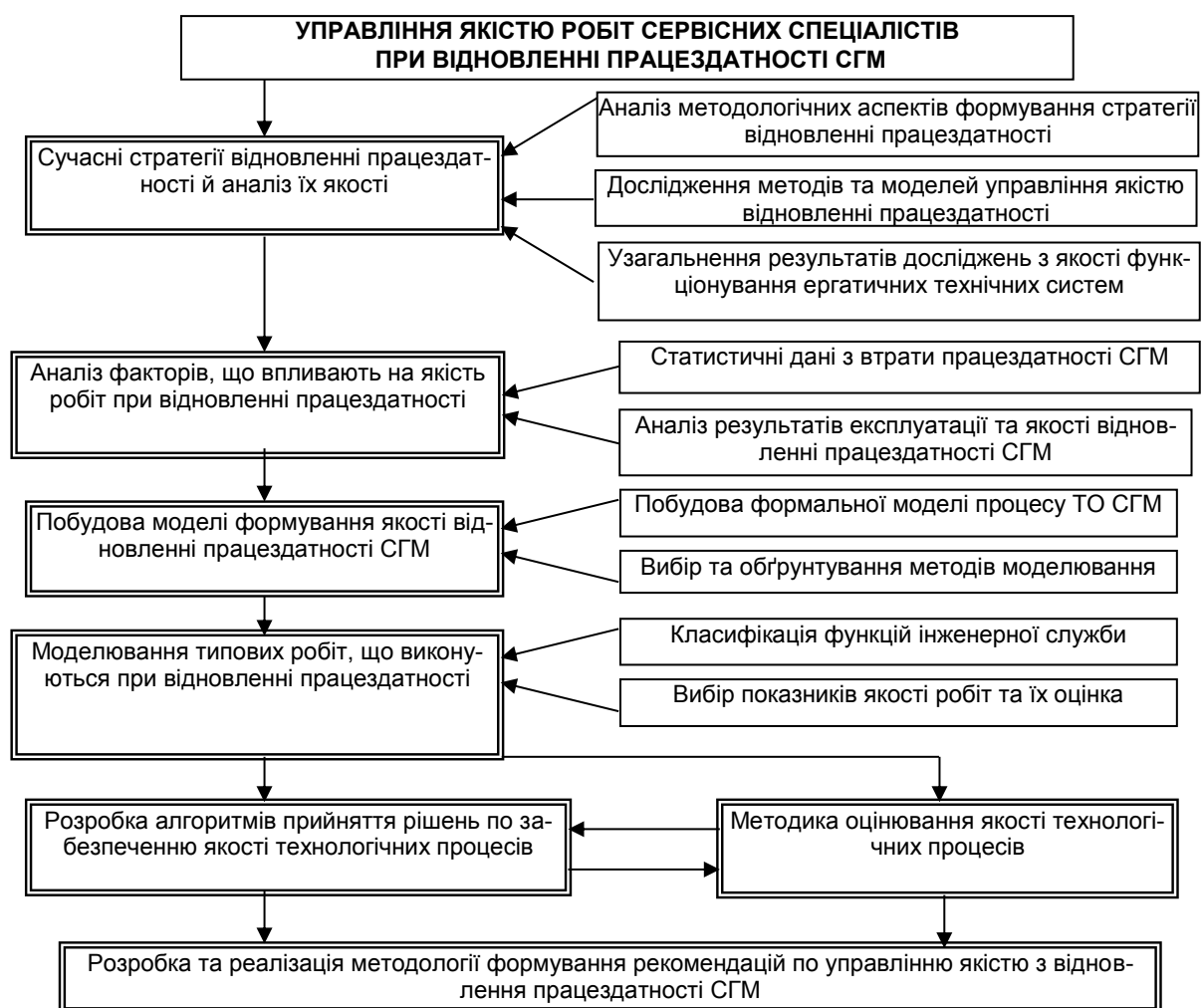


Рис. 1. Схема досліджень.

З метою урахування різних факторів, які впливають на якість ТО, підприємства ТО розглядаються як трудова система, що визначається як об'єкт виду $\{X, H, S, F, Y\}$, де X – сільськогосподарські машини (предмети праці); H – сервісні працівники (суб'єкти праці); S – технічні засоби (знаряддя праці); Y – відновлення працездатності (продукт праці); F – трудовий процес, в результаті виконання якого забезпечується Y об'єктів експлуатації X за допомогою H і S .

Завдання на якісне відновлення працездатності сформулюємо у такому вигляді: знайти такі X, H, S і F , при котрих:

$$P_Y(H, X, S, F) \geq P_Y^0; C_Y(X, H, S, F) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де: $P_Y(X, H, S, F)$ – функціонал, що характеризує залежність ймовірності відсутності помилок сервісного персоналу при ТО; $C_Y(X, H, S, F)$ – функціонал, що характеризує середні витрати на проведення ТО; P_Y^0 – мінімально припустиме значення P_Y .

Управління якістю ТО являє собою зміну властивостей елементів системи H, S і властивостей трудового процесу F , при якому мета системи Y залишається незмінною, але необхідним чином змінюються показники якості P_Y та вартості C_Y досягнення мети.

Якість функціонування ергатичної технічної системи залежить від правильності планування ТО й забезпеченості процесів ТО необхідними ресурсами, продуктивності й властивості системи зберігати стійкість запланованого процесу функціонування.

Ефективність ергатичної технічної системи (E_c) досягається через показники якості її функціонування F_c , показники продуктивності, показники надійності з урахуванням можливих зовнішніх впливів системного рівня Z_c технічного стану та управляючих факторів X_c :

$$E_c = f\{F_c; X_c; Z_c\}. \quad (2)$$

Показники F_c залежать від показників якості виконання окремих задач F_3 і структури їх логіко-часового взаємозв'язку L_{c-3} :

$$F_c = \varphi\{F_{3i}, X_{3i}, Z_{3i}, L_{c-3}, U_{c-3}, Y_{c-3}\}, \quad (3)$$

де: X_3 – керовані фактори; Z_{3i} – збурення, що впливають на якість виконання задачі; U_3 – обмеження, що впливають на структуру; Y_3 – керовані фактори структури.

Аналогічно показники якості виконання задачі F_3 залежать від якості виконання окремих технологічних операцій F_o та логіко-часової структури операцій L_{3-o} :

$$F_3 = \gamma\{F_{oi}, X_{oi}, Z_{oi}, L_{3-o}, U_o, Y_{oi}\}, \quad (4)$$

де: X_{oi}, Z_{oi} – керовані фактори та збурення, які впливають на якість робіт; U_o, Y_o – керовані фактори і обмеження, які впливають на структуру.

Дана схема формування показників якості процесів ТО має такі принципові особливості:

- по рівневе обчислення показників F_i , що дозволяє розчлени-

ти складні процеси на більш простіші;

- окреме урахування параметрів і структури системи дає можливість як структурної, так й параметричної оптимізації;

- порівняне урахування збурюючих і керуючих факторів дозволяє оцінювати їх вплив на відповідному їх масштабі рівні.

У відповідності з наведеною схемою (рис. 2) отримуємо такі оцінки показників якості робіт по ТО сільськогосподарських машин.

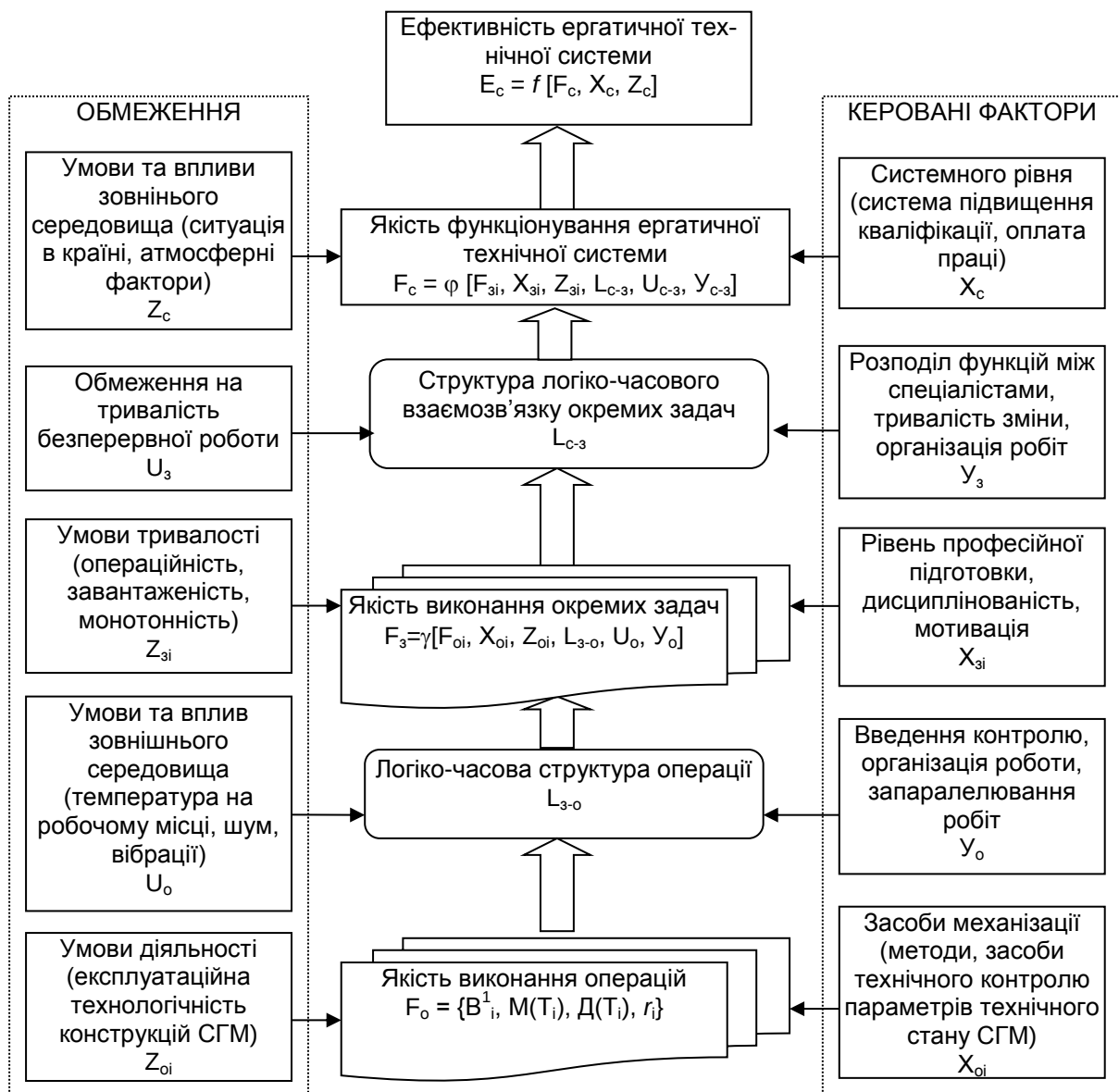


Рис. 2. Схема формування ефективності та показників якості процесів відновлення працездатності.

На рівні операцій:

$$F_0 = \{B^1_i, M(T_i), D(T_i), r_i\}, \quad (5)$$

де: B^1_i – ймовірність безпомилкового виконання i -ї операції; $M(T_i)$, $D(T_i)$ – математичне очікування та дисперсія часу виконання i -ї операції; r_i - витрати.

На рівні задачі:

$$F_3 = \{\Pi^1_3, M(T_3), D(T_3)\}, \quad (6)$$

де: Π^1_3 – ймовірність безпомилкового виконання задачі; $M(T_3)$, $D(T_3)$ – математичне очікування та дисперсія часу виконання задачі.

На рівні системи:

$$F_c = \{\Pi^1_c, Q^1_c(t), U(r)\}, \quad (7)$$

де: Π^1_c – ймовірність безпомилкового рішення усіх задач, які стоять перед організацією ТО; $Q^1_c(t)$ – ймовірність своєчасного рішення усіх задач; $U(r)$ – ймовірність достатності відведених ресурсів для рішення задач.

Якість виконання робіт K залежить від низки таких складових:

$$K = \varphi \{P(x), S, U, Y, Q\}, \quad (8)$$

де: $P(x)$ – можливості виконання робіт по ТО в умовах X ; S – ступінь готовності ергатичної технічної системи до виконання ТО; U – своєчасність початку виконання робіт; Y – ступінь успішності виконання робіт по ТО в умовах X (виконавець, дотримання технології, безпомилковість, точність); Q – властивість, яка характеризує якість контролю виконання заданих функцій.

Логіко-ймовірнісна модель процесів ТО являє собою орієнтований граф, що складається з двох частин: декомпозиційної та агрегаційної, декомпозиція здійснюється за логіко-часовою послідовністю подій, а агрегації за формою проявлення або характеру результату (рис. 3).

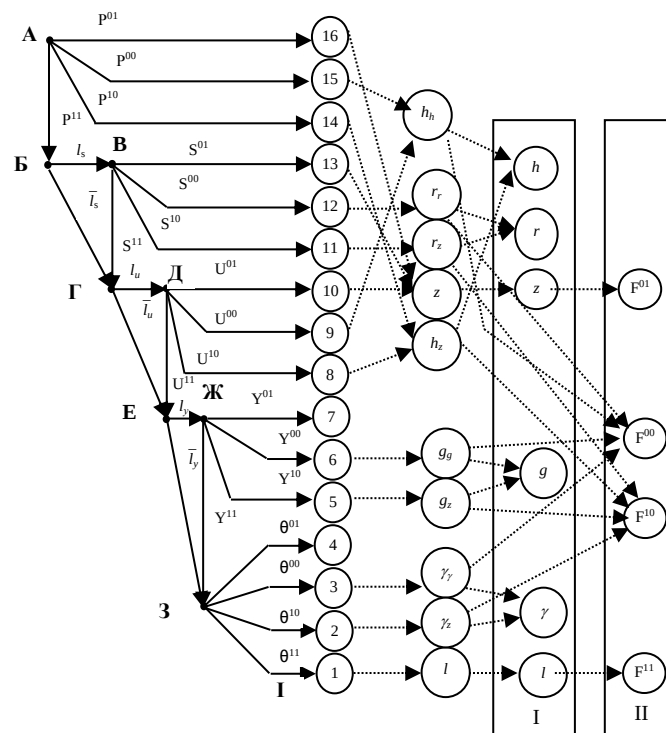


Рис. 3. Логіко-ймовірнісна модель процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

Відповідність окремого процесу вимогам (невідповідність) помічені "1" ("0"). Признані (ідентифіковані) як правильно (неправильно) виконаний процес помічені другим індексом "1"("0").

При дослідженні процесів ТО деякі із складових можуть не враховуватися. Для цього в модель введені булеві змінні I_i і $\bar{I}_i$, котрі свідчать про наявність в моделі наступної за нею i -функції.

Вмістове розшифрування результируючих подій: I – успішне закінчення сукупності робіт; γ_γ (γ_z) – безрезультатне закінчення сукупності робіт; z – закінчення робіт зі скритими дефектами; g_g (g_z) – переривання процесу через виявлення помилок; r_r (r_z) – переривання процесу через проявлення структур-но-організаційної відмови; h_h (h_z) – несвоєчасний початок ТО.

В агрегаційній частині моделі об'єднання можна проводити за двома ознаками: I – за формою проявлення, у відповідності з наведеними вище позначеннями; II – за характером результату процесу ТО в цілому. На основі приведеної моделі розроблені моделі типових функціональних структур робіт і визначені математичні залежності для оцінки кількісних значень якості праці, рис. 4 і рис. 5.

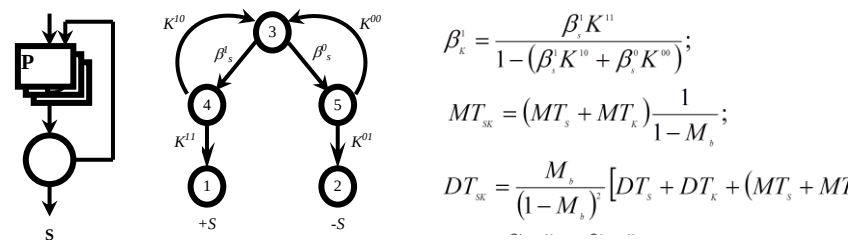


Рис. 4. Послідовне виконання комплексу технологічних операцій з контролем правильності їх виконання.

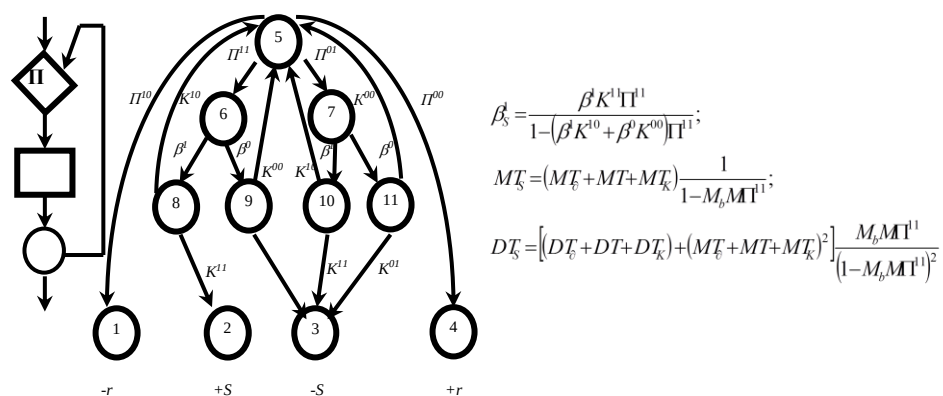


Рис. 5. Виконання технологічної операції на основі результатів контролю параметрів технічного стану СГМ з контролем правильності функціонування.

Запропоновані моделі (рис. 4 і рис. 5), виходять з того, що процеси ТО та роботи системи за призначенням розділені у часі. Тому в

рамках цих моделей є актуальними задачі зменшення часу обслуговування, вибору оптимальних моментів обслуговування і т.ін. Проте, процеси технічного контролю працездатності СГМ, аналізу результатів такого контролю й генерації корегуючих впливів відбуваються у детермінованому режимі.

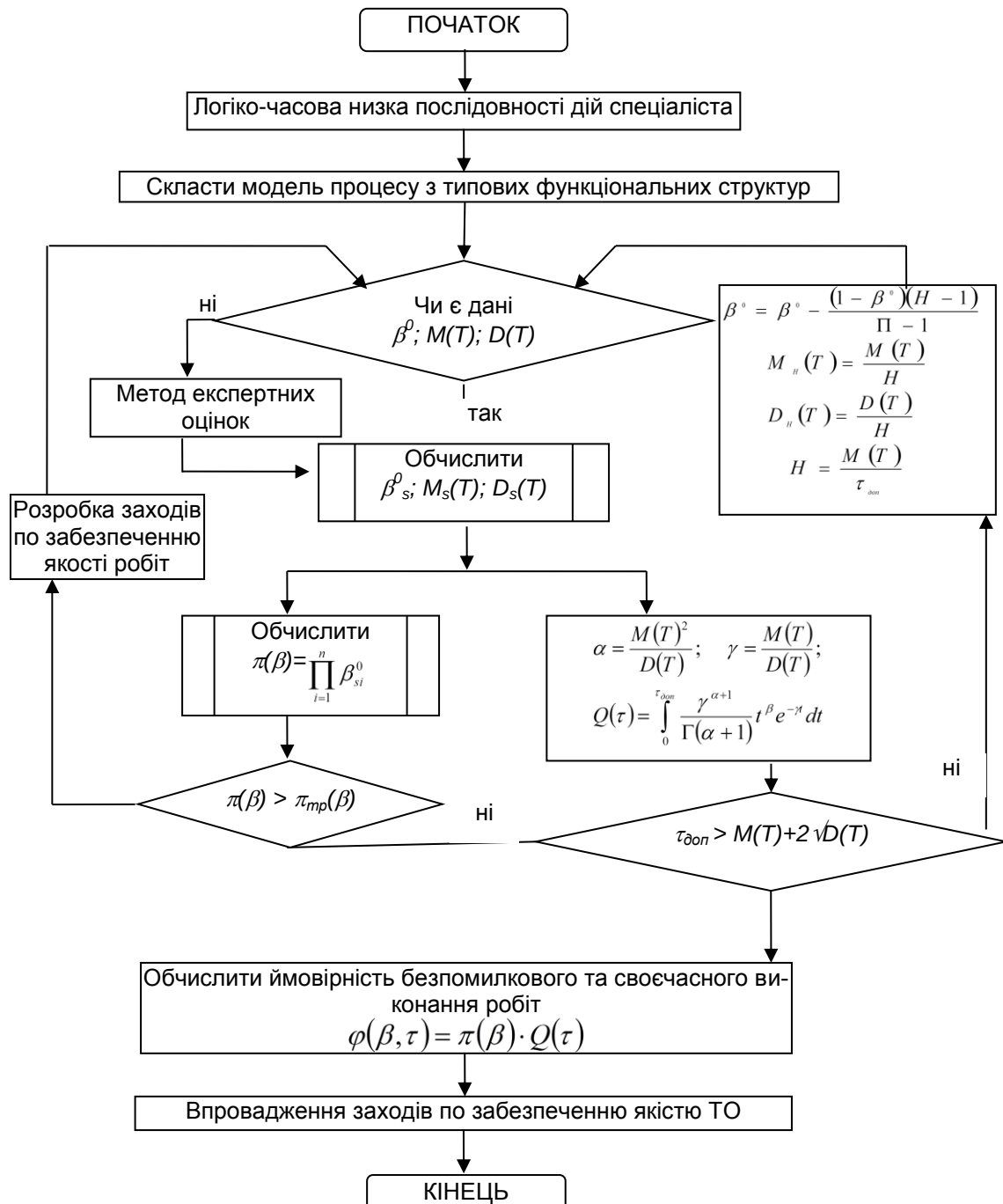


Рис. 6. Алгоритм визначення показників якості роботи сервісного працівника.

Процеси контролю значною мірою є автоматизованими та інтелектуалізованими. В таких умовах на перший план висувається не-

обхідність вирішення задач параметричної оптимізації моделей ТО за критеріями максимізації показників ефективності технічного обслуговування (наприклад, апостеріорної ймовірності безвідмовної роботи СГМ).

Тому запропоновано алгоритми контролю працездатності із використанням апостеріорної інформації щодо поточного стану контрольованого об'єкта і в більшості випадків не є адаптивними. Сучасні СГМ обладнані розвиненими засобами збору й аналізу інформації щодо подій з втрати працездатності. Ці засоби функціонують в реальному масштабі часу в фоновому режимі з високими інформаційними характеристиками. На їх основі є можливим реалізувати адаптивні моделі відновлення працездатності, які повною мірою використовують інформацію щодо змін у стані контрольованих СГМ (рис. 6).

Висновок. Відомі стратегії відновлення працездатності, як правило, зводяться до пошуку місця знаходження несправного елемента та його заміні на ймовірно справний із резервного фонду. Але для сучасних ергатичних технічних структур характерними є досить низькі значення ймовірності виходу з ладу конструктивних елементів, дослідженням яких на етапі експлуатації обладнання в багатьох практично-важливих випадках можливо знехтувати. Тому на перший план висувається необхідність вирішення задач, які пов'язані із розробкою та оптимізацією процедур пошуку причин виникнення відмов в процесі експлуатації сільськогосподарських машин.

Список літератури

1. *Роговський І.Л.* Методологія оцінення технології технічного обслуговування сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 368–375.
2. *Роговський І.Л.* Технологічний підхід до технічного обслуговування сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 134. – С. 276–281.
3. *Роговський І.Л.* Методологія технічного обслуговування сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський, О.В. Дубровіна* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 2. – С. 372–379.
4. *Rogovskii Ivan.* Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин / *Ivan Rogovskii* // *Motrol : Motorization and power industry in agriculture.* – 2014. – Том 16, №3. – Р. 296–302.
5. *Rogovskii Ivan.* Методология разработки нормативной документации обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин / *Ivan Rogovskii* // *Motrol: Motorization and power industry in agriculture.* – 2014. – Том 16, №2. – Р. 253–264.
6. *Мельник В.І.* Функціонування ринків в проекті інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу / *В.І. Мельник, З.В. Ружило, І.Л. Роговський, С.З. Хмельовська* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С. 366–376.

7. *Роговський І.Л.* Стохастичність забезпечення працездатності сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 226–232.

8. *Роговський І.Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини / *І.Л. Роговський* // Зб. наук. пр. “Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка”. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 159. – С. 224–232.

В статье раскрыто методологический подход к описанию стохастичности обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин.

Работоспособность, машина, стохастичность.

In paper the methodological approach to description of stochastic ensure efficiency of agricultural machinery.

Efficiency, machine, stochastics.

УДК 630.171.075.3

АНАЛІЗ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

Л.Л. Тімова, аспірантка*

І.Л. Роговський, кандидат технічних наук

В статті представлено результати щодо методичних положень опису математичної моделі забезпечення періодичності технічного обслуговування машин для лісотехнічних робіт.

Засіб, технічне обслуговування, періодичність, машина.

Постановка проблеми. На тривалість перебування машин для лісотехнічних робіт (далі – машин) в непрацездатному стані та витрати на обслуговування і ремонт впливає прийнята система забезпечення їх працездатними і ресурсними обмінними елементами та матеріалами, яка включає номенклатуру, кількість, розміщення при зберіганні, періодичність і порядок поповнення останніх.

***Науковий керівник – кандидат технічних наук І.Л. Роговський**

© Л.Л. Тімова, І.Л. Роговський, 2015

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] розроблена методика визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування машин за критерієм мінімуму сумарних питомих витрат:

$$C(t_i^{TO}) = C_O(t_i^{TO}) + C_{ПП}(t_i^{TO}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де: $C_O(t_i^{TO})$ – питомі витрати на технічне обслуговування і усунення відмов; $C_{ПП}(t_i^{TO})$ – питомі втрати від простою машини.

Оптимальна періодичність технічного обслуговування визначається за даними розрахунку, виконаного для різних значень періодичності, але вона пов'язана лише із затратами і не враховує фактичної зміни технічного стану машин.

Оптимальна періодичність технічного обслуговування і ремонту машин, згідно методу [2], визначається із умови найбільшої їх продуктивності. Об'єм виконаної роботи за певний календарний період, при цьому, визначається як:

$$V = Q_T t_p = Q_T t_k K_T K_\Gamma (K_{ОРГ} + K_{ОБС} - 1), \quad (2)$$

де: Q_T – технічна продуктивність машини; K_T – коефіцієнт технологічних втрат, $K_T = t_p / (t_p + t_m)$; K_Γ – коефіцієнт готовності, $K_\Gamma = (t_p + t_m) / (t_p + t_m + t_s)$; $K_{ОРГ}$ – коефіцієнт втрат через організаційні причини, $K_{ОРГ} = (t_k - t_{орз}) / t_k$; $K_{ОБС}$ – коефіцієнт обслуговування, $K_{ОБС} = (t_k - t_{обс}) / t_k$; t_p , t_k , t_m , t_s , $t_{орз}$, $t_{обс}$, – відповідно час продуктивної роботи, час роботи без втрат, час роботи вхолосту або пересування машини, час відновлення (усунення відмов), час простоїв через організаційні причини і несприятливі погодні умови, час технічного обслуговування.

В роботі [3] обґрунтував періодичність технічного обслуговування за продуктивністю машини, яка зменшується відповідно до зменшення потужності двигуна в результаті спрацювання, розрегулювань і старіння. А залежність середньої ефективної потужності двигуна $N_{еср}$ від періодичності технічного обслуговування x має такий вид [3]:

$$N_{еср} = N_{ен} - \frac{\Delta N_e}{2} = N_{ен} - \frac{x}{2} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

де: $N_{ен}$ – ефективна номінальна потужність; α – кут нахилу прямої $N_e = f(x)$ до осі абсцис.

Після проведення технічного обслуговування потужність двигуна відновлюється, але в процесі подальшої експлуатації машини знову знижується [4]. Підвищення середньої потужності шляхом зменшення x збільшує сезонний наробіток чи продуктивність машини $W_{сез}$, а зниження ступеня використання часу τ шляхом збільшення затрат часу на технічне обслуговування [$\tau_x = f(x)$] знижує сезонну продуктивність машини $W_{сез}$.

Але суттєвим недоліком цих методів є те, що в якості критерію

оптимальності і вихідних залежностей приймаються середні значення величин без врахування їх імовірнісного характеру, який є в дійсності [5].

Ці методи не дозволяють будувати гнучкі ремонтні цикли з різними видами групової профілактики і ефективні лише для великомасштабного прогнозування і планування потреби в ремонтних діях при встановленій системі обслуговування і ремонту [6].

Мета досліджень. Обґрунтувати методичні положення опису математичної моделі забезпечення періодичності технічного обслуговування машин для лісотехнічних робіт.

Результати досліджень. Пропонується метод, суть якого зводиться до визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування з умови забезпечення необхідної технічної готовності машини і, одночасно, найбільшої ймовірності безвідмовної роботи.

Прийнявши до уваги, що час між обслуговуваннями $T_n = m(T + T_e)/m_n$, наробіток на відмову $T = aK_b$, коефіцієнт готовності $K_r = T/(T + T_e) = 1/(1 + B)$, отримано вираз:

$$P_{e.g} = \frac{1}{1/K_r + K_{TO}m_n/m} \exp - \left(\frac{mK_b}{m_nK_r} \right)^b. \quad (4)$$

Досліджуючи вираз (4) на екстремум, отримані вирази для розрахунку оптимальної частоти проведення технічного обслуговування за розрахунковий період експлуатації та оптимального часу між технічними обслуговуваннями:

$$m_{n\ opt} = m \frac{K_b}{K_r} \sqrt{b/(b+1)}, \quad T_{n\ opt} = \frac{T}{K_b^b \sqrt{b/(b+1)}}.$$

З точки зору керування технічним станом, надійністю машин описаний методичний підхід має пасивний характер, так як визначає лише правило зупинки експлуатації, але не впливає на формування експлуатаційної надійності до зупинки. Тому технічний стан машини в процесі експлуатації змінюється під дією наступних факторів:

- дію факторів, що погіршують технічний стан, можна представити функцією $y = \varphi(S, Z, D, M)$, де S – старіння; Z – зношування; D – деформація; M – міцність;

- дію факторів, що відновлюють технічний стан, можна представити функцією $z = \varphi(V, K, O, Y)$, де V – вартість обслуговування; K – контроль і перевірка; O – обслуговування; Y – відновлення та усунення несправностей.

Тому було запропоновано використовувати при оптимізації періодичності технічного обслуговування залежність зміни технічного стану x за час t :

$$\frac{dx}{dt} = Q(x, y, z, t).$$

Зміна технічного стану машин під дією експлуатаційних факторів визначається сукупністю появи раптових і поступових відмов. Для характеристики їх впливу використовують функцію ймовірності безвідмовної роботи:

$$F(t) = 1 - [1 - F_1(t)][1 - F_2(t)],$$

де: $F_1(t)$ і $F_2(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи при поступових і раптових відмовах.

На основі статистики відмов можна встановити закономірність зміни ймовірності безвідмовної роботи даного типу машин, наприклад як на рис. 1.

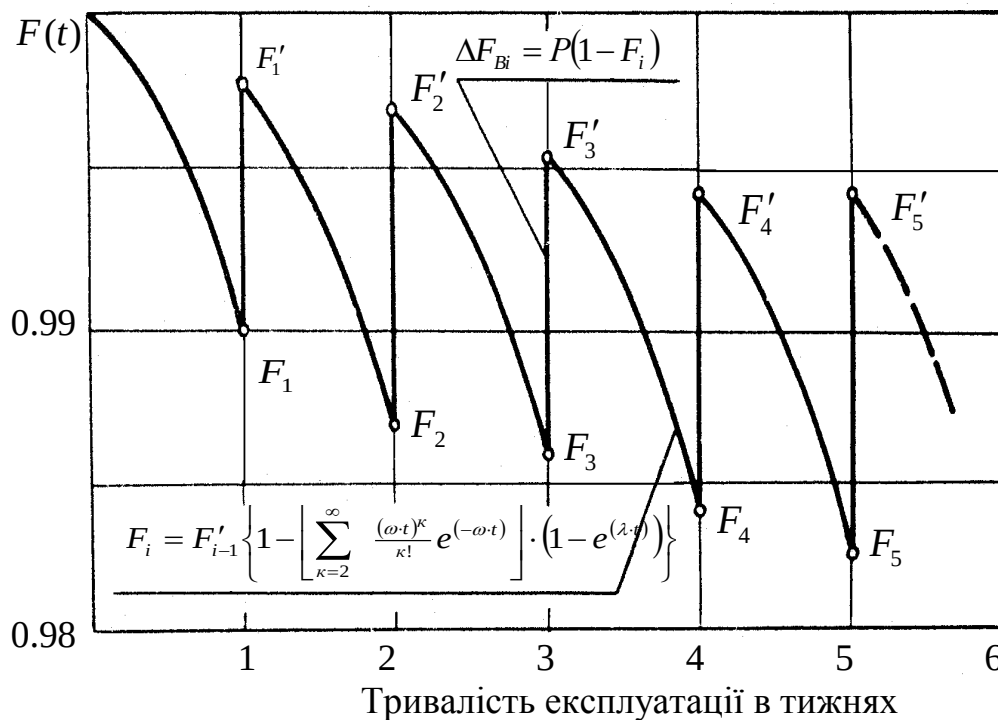


Рис. 1. Модель зміни технічного стану машин.

Розрахунок відновлення від фактичного рівня технічного стану перед обслуговуванням відображує умови експлуатації:

$$\Delta F_{Bi} = (1 - F_i) \cdot P,$$

де: F_i – технічний стан перед черговим обслуговуванням з урахуванням попереднього обслуговування:

$$F_i = F_{i-1}' \left\{ 1 - \left[\sum_{\kappa=2}^{\infty} \frac{(\omega \cdot t)^\kappa}{\kappa!} e^{-\omega \cdot t} \right] (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \right\},$$

де: F_{i-1}' – технічний стан на початку періоду; вираз у фігурних дужках є функція зміни технічного стану за міжремонтний період; P – ймовірність знаходження і усунення несправності при обслуговуванні.

При оптимізації періодичності технічного обслуговування за умовами закономірності розвитку відмов знаходимо максимум ймовірності сумісної події: виникнення несправності $P_H(t)$ і появи відмови $P_{H.6}(t)$. При цьому вважаємо, що усуненням несправностей у встановлений термін запобігається виникненню відмов. Як видно з рис. 2,а, з початку експлуатації $t_0=0$ починає розвиватись несправність, яка з'являється у випадковий момент часу t_1 . З даного моменту починається друга стадія розвитку відмови, яка триває до випадкового моменту часу t_2 . Відмова елемента виникає в момент часу $t_B=t_1+t_2$.

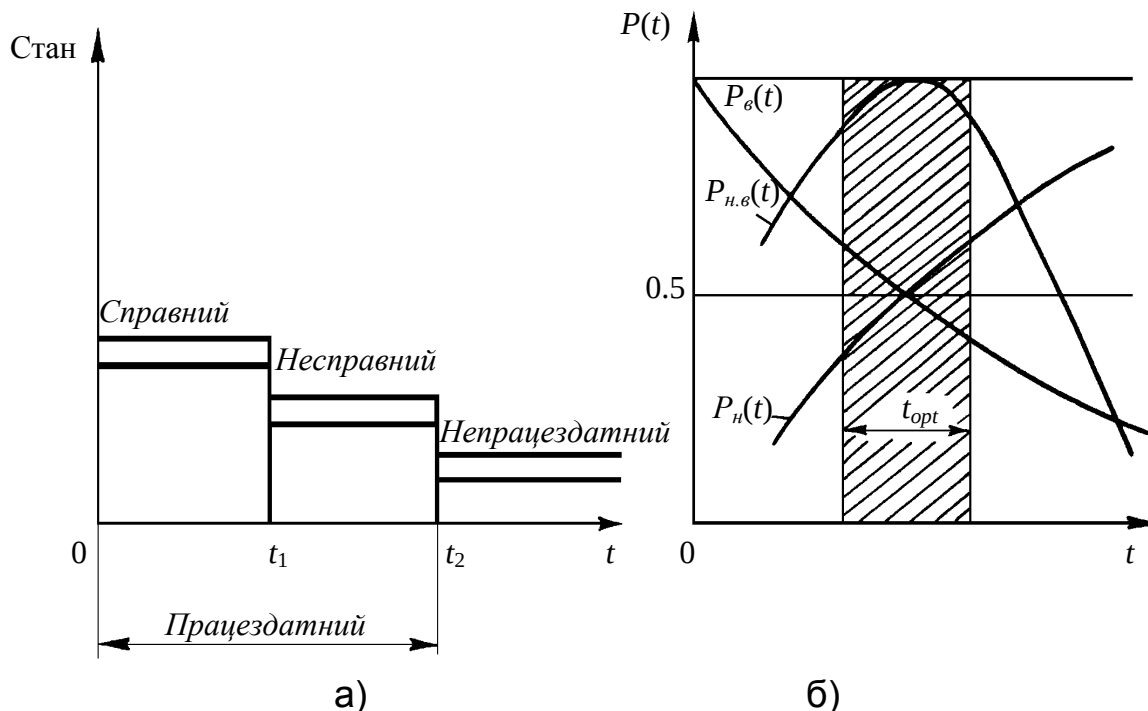


Рис. 2. Схема процесу розвитку відмови (а) та графік залежності параметрів ймовірності від часу (б).

Між часом виникнення несправності і відмовою існує імовірнісна або функціональна залежність. Елемент ймовірності сумісної події виникнення несправності і не появи відмови виражається як добуток двох складових:

- ймовірності того, що від моменту часу t до проведення технічного обслуговування t_{TO} в агрегаті не виникне відмови;
- ймовірності виникнення несправності за малий проміжок часу перед початком проведення технічного обслуговування, тобто:

$$dP_{H.6}(t) = [1 - P_2(t_{TO} - t)]P_1(t)dt. \quad (5)$$

Просумувавши даний вираз в інтервалі від нуля до t_{TO} і у випадку, якщо час виникнення несправностей t_1 і відмов t_2 має експоненціальний закон розподілу, то ймовірність сумісної події приймає вигляд:

$$P_{н.в}(t) = \int_0^{t_{TO}} \exp[-\lambda_2(t_{TO} - t)] \lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) dt, \quad (6)$$

характер зміни якої зображений на графіку (рис. 2,б).

Методика для визначення періодичності технічних обслуговувань ефективні для складових частин машини, які потребують контролю-оглядових, регулювальних втручань.

Висновок. Розглянута задача присвячена розрахунку оптимальної періодичності профілактичних заходів віновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт при єдиній регламентованій за наробітком стратегії. Розрахунки проводились з обмеженнями за функцією інтенсивності відмов і ймовірності безвідмовної роботи.

Список літератури

1. *Тимова Людмила.* Эффективность технической эксплуатации лесных МЭС / Людмила Тимова, Иван Rogovsky // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2014. – Том 16, №3. – Р. 313–321.
2. *Тимова Л.Л.* Прогнозування потреб в послугах з технічного обслуговування лісових МЕЗ / Л.Л. Тимова, І.Л. Rogovsky // Збірник тез I Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців «Перспективи та тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарських машин та знарядь» (16–17 жовтня). – Житомир, 2014. – С. 40–41.
3. *Тимова Л.Л.* Методи технічного обслуговування лісових машин / Л.Л. Тимова, І.Л. Rogovsky // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 155. – С. 132–137.
4. *Тимова Л.Л.* Методичні положення потреби в мобільних засобах техобслуговування лісових МЕЗ / Л.Л. Тимова, І.Л. Rogovsky // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 146–152.
5. *Тимова Л.Л.* Ефективність управління відновленням працездатності машин для лісотехнічних робіт / Л.Л. Тимова, І.Л. Rogovsky // Зб. тез доповідей XV Міжнародної конф. науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (23–27 березня 2015 року). Секції факультету конструювання та дизайну. – К., 2015. – С. 68–70.
6. *Тимова Л.Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини / Л.Л. Тимова, І.Л. Rogovsky // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 160. – С. 189–195.

В статье представлены результаты относительно методических положений описания математической модели обеспечения периодичности технического обслуживания машин для лесотехнических работ.

Средство, техническое обслуживание, периодичность, машина.

Results of rather methodical provisions of description of mathematical model of ensuring frequency of maintenance of machinery for timber works are presented in paper.

Means, maintenance, frequency, mashine.

УДК 631.3+531.2

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНЕРЦІЇ ОРГАНІВ РОСЛИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

***І.О. Чижиков, кандидат технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет***

В статті запропоновано спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур за рахунок розподілу їх лінійної щільності. Наведено аналітичну та експериментальну частини способу. Визначені параметри інерції різних видів підщеп плодових культур.

Маса, статичний момент, момент інерції, лінійна щільність.

Постановка проблеми. Одні з основних параметрів, які необхідно враховувати при розробці математичних моделей процесів, пов'язаних з садінням або викопуванням рослин сільськогосподарських культур (цукрового буряка, картоплі, розсади томатів, підщеп, саджанців і ін.) – це їх маса, статичний момент і момент інерції. Для моделювання таких об'єктів, вихідні залежності знаходять із фізичних, біологічних і інших закономірностей, які описують їх функціонування. У нашому випадку це переміщення органів рослин із вихідного положення у задане. Підвищити точність моделювання процесів переміщення в просторі органів рослин, що мають різноманітні форми та неоднорідну структуру можливо шляхом розрахунків параметрів їх інерції з урахуванням лінійної щільності, а одержання таких залежностей є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі дослідження, у яких описані аналітичні методи визначення параметрів інерції простих і складних тіл можна застосовувати в основному при розрахунках і проектуванні деталей механізмів і машин [1, 2]. При визначенні параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур, можна застосовувати спосіб фізичного маятника [3]. Так, у роботі [4] момент

© І.О. Чижиков, 2015

інерції розсади томатів визначався методом коливань. Для цього визначалася вага розсади та відстань від центру ваги до кореневої системи рослини. Далі рослина підвішувалася кореневою частиною за нить певної довжини, відхилялася від вертикалі на заданий кут і відпускалася. У такий спосіб визначався період коливань і розраховувався шуканий момент інерції. У роботі [5], при обґрунтуванні параметрів робочих органів бурякозбиральної машини запропоновано теоретичний спосіб визначення моменту інерції коренеплоду цукрового буряка щодо власних осей. При цьому необхідно враховувати масу та довжину конусної частини коренеплодів у вибірці.

Якщо тіло однорідне, то теоретично точно обчислити його момент інерції можливо, представивши тіло як межу суми нескінченно великої кількості добуток нескінченно малих елементів маси dm на квадрат їх відстані від осі [1]. У цьому випадку визначення моменту інерції тіла зводиться до обчислення об'ємного інтеграла:

$$J = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV, \quad (1)$$

де: $dm = \rho dV$ – маса малого елемента обсягу тіла dV ;

ρ – щільність тіла;

r – відстань від елемента тіла dV до осі.

Точно розрахувати момент інерції органів рослин по формулі (1) складно, тому що реальні тіла не мають правильної геометричної форми та однорідної структури. Для того, щоб врахувати неоднорідність структури органів рослини, при визначенні його параметрів інерції, доцільно застосувати зміну його лінійної щільності, яка показує розподіл маси тіла по його довжині.

Мета досліджень. Розробити спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур засовував інформацію про розподіл їх лінійної щільності.

Результати досліджень. Схеми розподілу лінійної щільності органів рослин різних форм представлені на рис. 1: A – умовна точка початку рослини; B – умовна точка кінця рослини; O – центр ваги рослини; L – загальна довжина рослини; L_{CT} – відстань до центру ваги; x – поточна точка на поздовжній осі перетину рослини; $\gamma(x)$ – лінійна щільність рослини.

Тоді масу, статичний момент і момент інерції органу рослини відносно т. A можна визначити по формулах [1]:

$$I_0 = \int_0^L \gamma(x) dx; \quad I_1 = \int_0^L \gamma(x) x dx; \quad I_2 = \int_0^L \gamma(x) x^2 dx, \quad (2)$$

де: x – поточна точка на поздовжній осі перетину рослини (рис. 1);

I_0 – маса рослини, кг;

I_1 – статичний момент рослини відносно т. A , m^3 ;

I_2 – момент інерції рослини відносно т. A , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$\gamma = \gamma(l)$ – лінійна щільність рослини, кг/м .

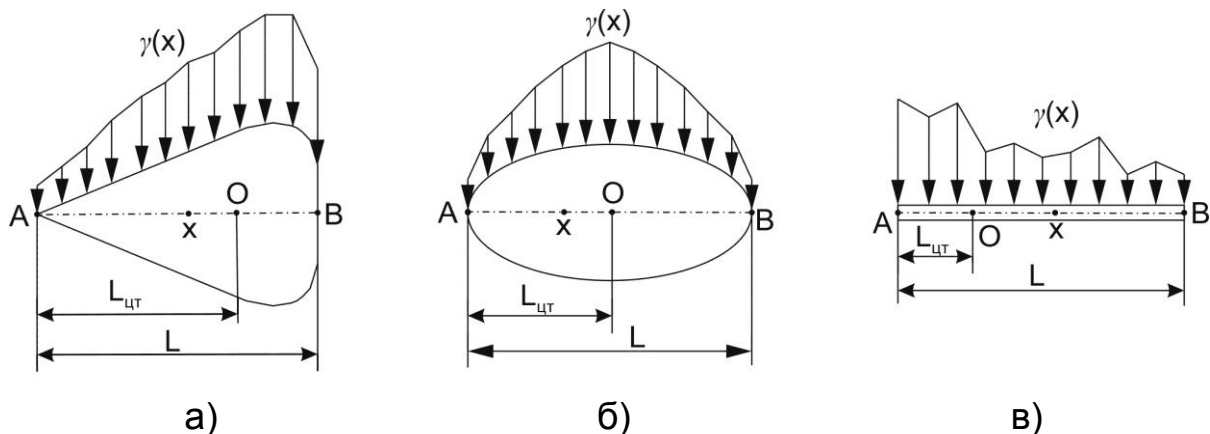


Рис. 1. Схеми лінійної щільності органів рослин різних форм: а) конусної (коренеплід цукрового буряка); б) еліпса (коренеплід картоплі); в) циліндричної (розсада томатів, підщепа або саджанець плодової культури).

Для того щоб визначити, як розподілена щільність рослини по його довжині, у лабораторних умовах необхідно [6]:

- 1) сформуванати вибірку досліджуваних органів рослин;
- 2) визначити загальну довжину L кожної рослини;
- 3) фізично розділити кожну рослину на n_i частин, довжиною l_i рівною 20–25 мм (рис. 2);

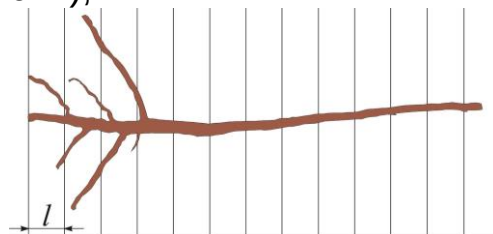


Рис. 2. Схема розділення підщепи на частині: l – довжина відокремленої частини підщепи.

- 4) визначити масу m_i кожної відокремленої частини рослини.

Значення параметрів відокремлених частин рослини можна представити у вигляді табл. 1.

Значення лінійної щільності для кожного із відокремлених частин розраховується по формулі:

$$\gamma_i = \frac{m_i}{l_i}, \quad (3)$$

де: γ_i – лінійна щільність відокремленої частини рослини, кг/м ;

m_i – маса відокремленої частини рослини, кг ;

l_i – довжина відокремленої частини рослини, м .

1. Значення параметрів відділених частин органі рослини.

Номер частини, n	Довжина l , м	Маса m , кг	Лінійна щільність γ , кг/м
1	l_1	m_1	γ_1
2	l_2	m_2	γ_2
...	...	...	...
n	l_n	m_n	γ_n

Однак лінійна щільність відокремленої частини рослини, розрахована по формулі (2) не відображає залежності її зміни по всій довжині рослини.

Для того, щоб визначити зміну лінійної щільності по всій довжині рослини, необхідно задатися її значенням у вигляді функції $\gamma^{(i)}(x)$, де x – поточна точка по поздовжній осі рослини (рис. 1). Ця функція відображає лінійну щільність j -ї рослини по довжині відрізка від точки A , аргументом якого є співвідношення Ax/L .

Скориставшись даними табл. 1, можливо задати дану функцію в точках: $(l_{1/2})/L; (l_1+l_{2/2})/L; (l_1+l_2+l_{3/2})/L$ і т.д. таким чином, що функцію $\gamma^{(i)}(x)$ можна вважати рівної значенням (3) на першому, другому та наступних відрізках (відокремлених частинах).

Визначити значення функції $\gamma^{(i)}(x)$ в проміжних точках можна за допомогою лінійної інтерполяції [7].

Згідно цього способу, якщо f_0, f_1 – значення функції $f(x)$ у точках x_0, x_1 , то значення функції в інших точках визначиться формулою:

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \begin{vmatrix} x - x_0 & f_0 \\ x - x_1 & f_1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Скориставшись формулою (4), задамо функцію $\gamma^{(i)}(x)$ у виді:

$$\gamma^{(i)}(x) = \begin{cases} \frac{2L}{l_1 + l_2} (\gamma_2 (x - \frac{l_1}{2L}) - \gamma_1 (x - \frac{l_2}{2L} - \frac{l_1}{L})), \\ \text{якщо } x < \frac{l_2}{2L} + \frac{l_1}{L} \\ \frac{2L}{l_j + l_{j+1}} (\gamma_{j+1} (x - \frac{l_j}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{j-1} l_k) - \gamma_j (x - \frac{l_{j+1}}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^j l_k)), \\ \text{якщо } \frac{l_j}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{j-1} l_k < x < \frac{l_{j+1}}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^j l_k \\ \frac{2L}{l_n + l_{n-1}} (\gamma_n (x - \frac{l_{n-1}}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-2} l_k) - \gamma_{n-1} (x - \frac{l_n}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-1} l_k)), \\ \text{якщо } x > \frac{l_{n-1}}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-2} l_k \end{cases} \quad (5)$$

Для визначення середнього арифметичного значення лінійної щільності, яке в цьому випадку буде детермінованою складовою функції $\gamma^{(i)}(x)$ по відносній довжині рослини, скористаємося формулою:

$$\gamma_{cp}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma^{(i)}(x). \quad (6)$$

Відхиленням від середнього значення (середньоквадратичне відхилення) для кожної функції будемо вважати стохастичною складовою, яка розраховується по формулі:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\gamma^{(i)}(x) - \gamma_{cp}(x))^2}. \quad (7)$$

Запропонований спосіб був застосований при визначенні параметрів інерції підщеп плодових культур. Для дослідження було відібрано два види підщеп: зерняткових - яблуні М9 і кісточкових – черешні. Були сформовані вибірки по 50 штук підщеп кожного виду в таких діапазонах довжин: для яблуні М9 – від 400 до 540 мм, черешні – від 450 до 550 мм. Визначено довжини L кожної підщепи у вибірці, а також довжини l_i (рис. 2) відділених частин, і їх мас m_i . Скориставшись формулою (4) за допомогою програмної оболонки Delphi 7 визначено розподіл лінійної щільності зерняткових та кісточкових видів підщеп, графіки яких представлені на рис. 3.

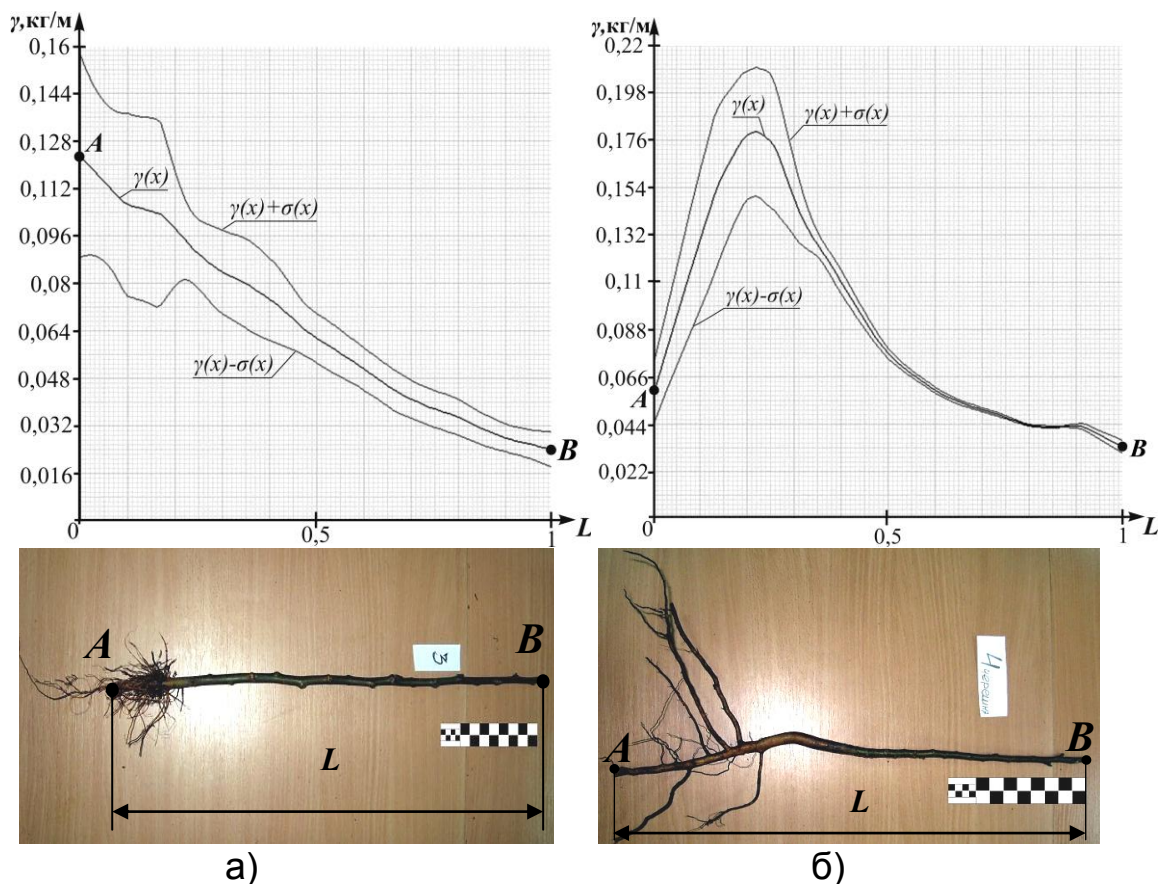


Рис. 3. Лінійна щільність підщеп: а) яблуні М9; б) черешні.

Аналізуючи дані залежності, можна зробити висновок про те, що розподіл лінійної щільності залежить від виду підщеп. Для зерняткових підщеп (рис. 3,а) щільність плавно зменшується від основи кореня (т.А – 0,122 кг/м) до вершини підщепи (т.В – 0,022 кг/м). Для кісточкових підщеп розподіл інший (рис. 3,б). Значення щільності збільшується від кореневої частини (т.А – 0,06 кг/м) до центру ваги, де набуває найбільшого значення – 0,18 кг/м, а далі зменшується до вершини підщепи (т.В – 0,03 кг/м).

Далі по формулах (1) розраховувалась маса, статичний момент і момент інерції підщеп щодо кореневої частини, граничні значення яких наведено у табл. 2.

2. Параметри інерції підщеп плодових культур.

Вид підщеп	Маса, кг		Статичний момент, м ³		Момент інерції, кг·м ²	
	min	max	min	max	min	max
Яблуня М9	$23 \cdot 10^{-3}$	$43 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$
Черешня	$36 \cdot 10^{-3}$	$59 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$21 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$71 \cdot 10^{-4}$

Отримані дані використані при розробці математичної моделі процесу садіння підщеп плодових культур апаратом дискового типу [8]. Модель мала імовірнісний характер при обчисленні якої була необхідна інформація про змінну масу, статичний момент та момент інерції підщеп.

Висновок. Запропонований спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур за допомогою розподілу їх лінійної щільності може бути застосований при розробці математичних моделей процесів, пов'язаних з переміщенням у просторі органів рослин різних сільськогосподарських культур при їх садінні або викопуванні.

Список літератури

1. Гернет М.М. Определение моментов инерции / М.М. Гернет, В.Ф. Ратобильский. – М.: Машиностроение, 1969. – 246 с.
2. Фаворин М.Ф. Моменты инерции тел. Справочник / М.Ф. Фаворин, М.М. Гернет; под. ред. М.М. Гернета. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 511 с.
3. А.с. 1293503 СССР, МПК⁵ G01M1/10. Способ определения момента инерции изделия методом физического маятника / В.А. Мещеряков, А.П. Прудников (СССР). – № 3958284/25-28 : заявл. 01.10.85 : опубл. 28.02.87, Бюл. №8.
4. Мун В.Ф. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы посадочных аппаратов рассадопосадочных машин : дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Ф. Мун. – Алма-Ата, 1984. – 183 с.
5. Туник И.Г. Разработка и обоснование параметров доочистительных транспортеров свеклоуборочных машин : автореф. дис...канд.техн. наук: 05.05.11/ И.Г. Туник. – Луцк, 2000. – 16 с.

6. Караєв О.Г. Визначення розподілу лінійної щільності мас підщеп плодових культур по довжині / О.Г. Караєв, І.О Чижиков, В.В. Кузьмінов // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2011. – Вип. 11, т. 5. – С. 149–154.
7. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
8. Чижиков І.О. Модель оптимізації процесу садіння підщеп плодових культур садильним апаратом дискового типу / І.О. Чижиков // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя, 2012. – Вип. 1(9). – С. 83–96.

В статье предложен способ определения параметров инерции растений сельскохозяйственных культур за счет распределения их линейной плотности. Приведена аналитическая и экспериментальная части способа. Определены параметры инерции различных видов подвоев плодовых культур.

Масса, статический момент, момент инерции, линейная плотность.

The method for defining the plants inertia parameters of crops plants at the expense of their linear density distribution has been proposed. The analytical and experimental parts of mode have been given. The inertia parameters of various fruit crops stock types have been defined.

Mass, static moment, inertia moment, linear density.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИПУСК 212

Частина 1

Серія “Техніка та енергетика АПК”

Видається з квітня 1997 року

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія KB №17147 – 5917P від 28.09.2010

Редактор І.Л. Роговський

03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15

Здано до набору 23.02.2015
Формат 60×84/16
Наклад 100 прим.

Підписано до друку 23.02.2015
Папір офсетний.
Зам. № 7263 від 23.02.2015

Видавничий центр НУБіП України
03041, Київ, вул. Героїв оборони, 15.
т. 527-80-49, к. 117