

**Національний університет біоресурсів і  
природокористування України**

**Факультет конструювання та дизайну**

**Науково-дослідний інститут техніки і технологій**



## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**«ВІСНИК СЛУХАЧІВ МАГІСТРАТУРИ  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ»**

Київ-2019

**УДК 631.17+62-52-631.3**  
**ББК40.7**

Збірник наукових праць «Вісник слухачів магістратури Національного університету біоресурсів і природокористування України» / Факультет конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2019. – 119 с.

Збірник тез рекомендовано до друку рішенням вченої ради факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України від 19.11.2019 р., протокол №4.

В збірнику представлені наукові праці слухачів магістратури, що працюють над магістерськими роботами по кафедрах факультетів конструювання та дизайну і механіко-технологічного НУБіП України, в яких розглядаються завершені етапи розробок з машин і обладнання сільськогосподарського виробництва, промислового і цивільного будівництва, механізації сільського господарства, будівництва сільських територій, конструювання і надійності машин для сільського і лісового господарств.

Редакційна колегія: Ружи́ло З.В., к.т.н., доц.; Лове́йкін В.С., д.т.н., проф.; Афтанді́лянц Є.Г., д.т.н., проф.; Пилипа́ка С.Ф., д.т.н., проф.; Баку́лін Є.А., к.т.н., доц.; Березовий М.Г., к.т.н., доц.; Булгаков В.М., д.т.н., проф.; Чау́сов М.Г., д.т.н., проф.; Ярмо́ленко М.Г., к.т.н., проф.; Несвідо́мін В.М., д.т.н., проф.; Лопатько К.Г., д.т.н., доц.; Марус О.А., к.т.н., доц.; Новицький А.В., к.т.н., доц.; Яковенко І.А., д.т.н., доц.; Ромасевич Ю.О., д.т.н., доц.

© НУБіП України, 2019

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА АКТИВНОЇ ПОЛИЦІ КОМБІНОВАНОГО КОРПУСУ ПЛУГА



*Савенко А.С., студентка*

*Деркач О.П., к.і.н., доц.*

В результаті аналізу та узагальнення досліджень роботи комбінованих плугів для оранки важких ґрунтів встановлено, що існуючі конструкції корпусів комбінованих плугів не забезпечують необхідної якості обробки переущільнених ґрунтів зі значною кількістю рослинних решток.

Обґрунтовано доцільність застосування у плузі, призначеному для обробітку важких ґрунтів зі значною кількістю рослинних решток, комбінованих корпусів з активною полицею. Активна полиця комбінованого корпусу плуга являє собою ротор, який складається з вала 1 (рис. 1) і ножів 2, що мають криволінійну форму. Верхня частина ножа ротора описується рівнянням параболі, а нижня, що не перевищує  $1/3$  висоти ножа, рівнянням гіперболи. Така конструкція ножів дозволяє отримати вирівняну поверхню поля, без значних гребенів і борозен, з одночасною якісною заробкою рослинних решток, оборотом і кришенням пласта ґрунту по шарах, не перемішуючи їх і не виносячи нижній, більш вологий шар, на поверхню поля.

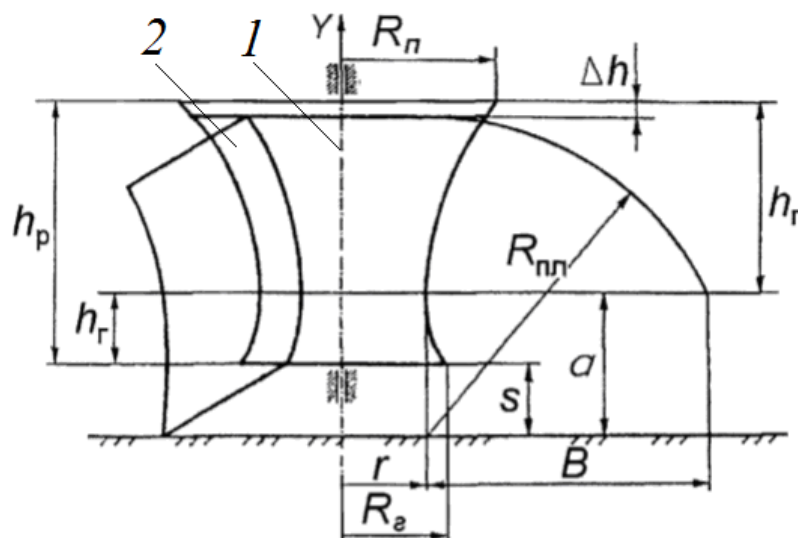


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення основних параметрів ротора активної полиці комбінованого корпусу плуга:

1-вал; 2-ніж;  $R_n$ -радіус ротора у верхній площині, м;  $R_z$  - радіус ротора у нижній площині, м;  $h_n$  -висота параболічної частини ротора, м;  $a$ -глибина обробітку, м;  $B$  -ширина захвату корпусу, м;  $r$ -мінімальний радіус ротора, м;  $\Delta h$ -висота верхньої частини ротора, що обмежує перелітання ґрунту через ротор, м;  $s$  - висота розміщення ротора відносно дна борозни, м;  $h_z$ -висота ротора, що описана рівнянням гіперболи, м;  $h_n$ -висота ротора, що описана рівнянням параболи, м;  $h_p$ -висота ротора, м

Для розрахунку конструктивних параметрів ротора з ножами заданої кривизни (див. рис. 1) отримані математичні залежності:

$$\begin{cases} R_n = \frac{9h_n^2(a-2r)}{4(\sqrt{a^2+B^2+\Delta h-s})^2}, \\ R_z = \frac{(a-3r)(\sqrt{a^2+B^2+\Delta h-s})}{3h_z} + r, \end{cases}$$

В результаті рішення цих рівнянь визначені конструктивні параметри ротора: значення радіуса ротора в його верхній площині  $R_n = 0,15 \dots 0,20$  м; значення радіуса ротора в його нижній площині  $R_z = 0,10 \dots 0,15$  м; висота ножів ротора  $h_p = 0,40 \dots 0,50$  м; кількість ножів  $Z = 4$ . На основі цих параметрів розроблений ротор активної полиці комбінованого корпусу плуга. Випробування плуга з комбінованими корпусами показало, що 85...97% (рис. 2) рослинних решток були зароблені у ґрунт на глибину 9,2...10,4 см при поступальній швидкості руху агрегату 9,4...13,0 км/год, що цілком відповідає агротехнічним вимогам.

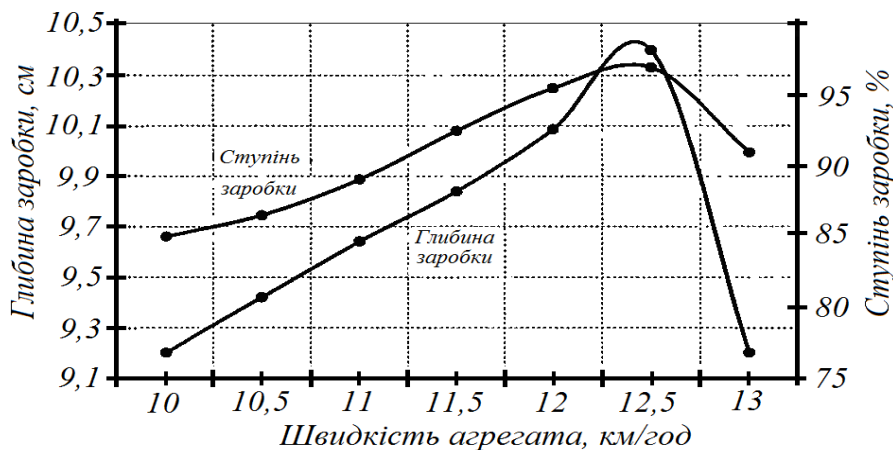


Рис. 2. Залежність ступеня і глибини заробки рослинних решток від поступальної швидкості руху агрегату з комбінованими корпусами

### **Список використаних джерел:**

1. Анискин В.І. та ін. Нові плуги з активними полицями // Трактори і сільгоспмашини., 2002.
2. Анискин В.І., Антишев Н.М. Пріоритетні напрямки та принципи розвитку механізації рослинництва // Трактори і сільгоспмашини., 2002.
3. Безрукий Л.П. Експериментальне дослідження руйнування ґрунтових комків // Трактори і сільгоспмашини., 2005.
4. Бойков В.М., Старцев С.В. Орні агрегати нового покоління // Землеробство. - №2,2003.
5. Виноградов В.І. Опір робочих органів лемішного плуга і методи зниження енергоємності оранки.

**УДК 669.14.018.25:620.18:539.374**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ ЛИВАРНИХ СТАЛЕЙ**

*Киця В.О., студентка*

*Афтанділянц Є. Г., д.т.н., проф.*

Аналіз механізму розвитку концентраційного переохолодження в дифузійному шарі перед зростаючими дендритними кристалами показує, що для аналітичного опису впливу хімічного складу металу на процес формування дендритної структури необхідно знати закономірності впливу легуючих елементів на параметри концентраційного переохолодження металу в дифузійному шарі.

Відомо, що на перерозподіл легуючих елементів і домішок в дифузійному шарі при дендритної кристалізації впливають такі безперервно змінюючи фактори, як геометрична форма і розміри зростаючих гілок дендритів і умови капілярного масопереносу. Оцінку впливу легуючих елементів на параметри концентраційного переохолодження в дифузійному шарі робили за моделлю плоского фронту кристалізації з подальшою оцінкою достовірності і похибки розрахункових даних по експериментальним.

Кінетика зміни переохолодження перед зростаючим дендритом визначається співвідношенням таких факторів як тангенс кута нахилу лінії ліквідус; зміст елемента  $i$  в розплаві; ефективний коефіцієнт розподілу елемента  $i$ ; коефіцієнт дифузії розчиненої речовини  $i$ ; температурний градієнт в розплаві перед фронтом кристалізації і швидкість кристалізації.

Визначили критичне значення відношення температурного градієнту в розплаві перед фронтом кристалізації до швидкості кристалізації  $(G/V)_{кр}$ , при якому буде досягтися максимально можливе, для даного вмісту елемента, переохолодження.

Значення  $G/V$  для металу, що містить кілька елементів, визначали як суму  $G_i/V$  для кожного елемента або домішки. Встановивши для заданого хімічного складу критичне значення  $(G/V)_{кр}$  визначали умови максимального переохолодження перед плоским фронтом кристалізації, яке характеризує умови зупинки плоского фронту кристалізації оскільки відомо, що його просування припиняється з достатнім розвитком перед ним дезорієнтованих кристалів.

Отже, зі зміни значення величини  $(G/V)_{кр}$  можна прогнозувати зміну розміру зони трансристалізації, оскільки великим значенням  $(G/V)_{кр}$  повинна відповідати менша її протяжність і навпаки.

**УДК 669.14.018.25:620.18:539.374**

## **ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДКОГО МЕТАЛУ НА ДЕНДРИТНУ СТРУКТУРУ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ**

*Йолдич О. О., студентка*  
*Афтанділянц Є. Г., д.т.н., проф.*

Властивості рідкого металу є важливим фактором у формуванні структури і експлуатаційних властивостей виливків. Однак, в літературі практично відсутній аналіз механізмів цього впливу. Разом з тим не викликає сумніву, що вони можуть включати безпосередній вплив параметрів міжатомної взаємодії, і пов'язаних з ним поверхневого натягу, щільності і

в'язкості розплаву на закономірності первинної кристалізації при затвердінні і перекристалізації в твердому стані.

Досліджували парну кореляцію між значеннями поверхневого натягу, в'язкості і щільності при температурі ліквідусу і характеристиками дендритних структури виливків, затверділих в ідентичних умовах охолодження. Виливки розміром  $d = 20\text{мм}$ ;  $l = 150\text{мм}$  виготовляли методом точного лиття. Дендритну структуру виявляли на поперечних темплетах, травленням в реактиве, що містить 10 мл  $\text{HNO}_3$ , 30 мл  $\text{HCl}$  при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 10 - 15 с.

Аналіз експериментальних даних показує, що зі збільшенням щільності і в'язкості розплаву при температурі ліквідусу дисперсність дендритних структури збільшується.

Найбільш ефективний вплив на характеристики дендритних структури надає щільність розплаву. Імовірність такого впливу на довжину і ширину стовпчастих дендритів, а також розмір дезорієнтованих кристалів, становить понад 95%.

Аналіз впливу поверхневого натягу показав, що для довжини і ширини стовпчастих і довжини дезорієнтованих дендритів спостерігається зворотна, а для поперечного розміру дезорієнтованих і відстані між осями другого порядку пряма тенденція до зміни розмірів при зменшенні поверхневого натягу.

Переходячи до комплексної оцінки, встановили, що між поверхневим натягом, густиною та в'язкістю розплавів конструкційних сталей при температурі ліквідусу і характеристиками дендритної структури, з імовірністю від 90 до 95% і похибкою від 7 до 24%, існують значні аналітичні залежності.

**УДК 669.14.018.25:620.18:539.374**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ**

*Осадчий Є.О., студент*

*Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

Якість виливків визначається не тільки фізико-механічними, а й такими ливарними властивостями, як рідкотекучість, лінійна і об'ємна усадка і тріщиностійкість металу.

Рідкотекучість характеризує здатність сталі заповнювати порожнину ливарної форми. Найбільш вірогідно порівняльну оцінку рідкотекучості сталей характеризує умовна рідкотекучість, яка визначається при однаковому перегріві над температурою ліквідусу. При постійних матеріалі форми, гідравлічних і теплофізичних умовах заповнення рідкотекучість сталі залежить від швидкості руху розплаву і часу утворення каркаса твердої фази, які в свою чергу залежать від властивостей рідкого металу і закономірності його кристалізації.

При наскрізній транскристалізації каркас твердої фази може утворюватися внаслідок стикування стовпчастих кристалітів, що ростуть від стінок форми, в тих ділянках, куди метал надходить без перегріву.

У разі послідовно-об'ємної кристалізації в потоці розплаву є дрібні кристалики. Вони виносяться в вершину потоку і беруть участь в утворенні суцільного твердо-рідкого каркаса, який зупиняє рух металу, ще до стикування кристалітів, що ростуть від стінок форми.

При легуванні і модифікуванні конструкційної сталі відбувається зміна таких теплофізичних параметрів процесу затвердіння, як температура ліквідусу, теплота кристалізації і теплопровідність сталі, які мають істотний вплив на рідкотекучість металу.

Отже, при дослідженні впливу хімічного складу металу на рідкотекучість конструкційної сталі необхідно основну увагу приділити зміни ними властивостей рідкого металу, теплофізичних параметрів затвердіння і дисперсності дендритної структури, оскільки саме ці характеристики повинні в першу чергу визначати рівень рідкотекучості металу.

Виходячи з таких передумов визначили кількісну закономірність залежності рідкотекучості конструкційних сталей, що містять від 0,2 до 0,37% масової частки вуглецю; 0,97-3,2 кремнію; 0,54-3,35 марганцю; 0,79-3,09 хрому; до 0,26 ванадію; 0,005-0,031 азоту, від величини перегріву розплаву над температурою ліквідусу, теплоти кристалізації, щільності, кінематичної в'язкості і поверхневого натягу розплаву, довжини стовпчастих і дезорієнтованих дендритів, а також теплопровідності сталі при температурі солідусу.



## ВІДНОВЛЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ ВАЛІВ

*Гаращенко А.В., студентка*  
*Сиволапов В.А., ст. викладач*



Основними дефектами шліцьових валів є знос опорних шийок, знос і руйнування шліців, деформація вала, знос різьбових ділянок.

Знос шийок під шарикопідшипники не перевищує 0,3 мм. Знос шийок, що сполучаються з сальниками і втулками, може досягати 0,6 ... 0,9 мм. Шліці зношуються переважно у верхній частині бічної поверхні. Близько 90% шліців трактора має знос 0,4 ... 0,6 мм, а решта 10% - не більше 1 мм.

Шліцьові вали, центровані по зовнішньому діаметру, зношуються по цьому діаметру і відповідно вимагають відновлення даної поверхні. Вали, центровані по боковій поверхні шліців, зносу по зовнішньому діаметру зазвичай не мають, проте в процесі роботи деформуються. Короткі вали зазвичай мають деформацію в межах 0,1...0,3 мм, а деформація довгих валів (наприклад, піввісь) досягає 1...1,5 мм.

Шліці валів зношуються по ширині переважно до 1...2 мм. Знос по центруючому діаметру не перевищує 0,1...0,2 мм. В окремих випадках знос шліцьових валів тракторів досягає найбільшої величини (до 3...4 мм). Мають місце випадки змінання шліців. Знос різьбових ділянок валів характеризується зазвичай змінанням витків різьби, особливо характерним на кінцях вала.

При відновленні шийок і різьбових ділянок рекомендується вибродугове наплавлення, наплавлення в середовищі вуглекислого газу, наплавка під шаром флюсу, контактна приварка металевого шару, газотермічне напилення, електроферромагнітне нарощування порошками.

Електродугова наплавка рекомендується при відновленні зношених бічних ділянок шліців. Для валів з дрібними шліцами западини між останніми повністю заплаваються. Для того щоб зменшити деформацію вала, наплавляють по черзі шліці на діаметрально протилежних його сторонах. Наплавлення ведуть електродами ОЗН-300, ОЗН-350, ОЗН-400 діаметром 4...5 мм, на зворотній полярності, при силі струму 200...250 А.

Кільцеву наплавку по спіралі можна застосовувати і для валів з великими високими шлицями, проте в цьому випадку їх попередньо обробляють (обточують або обдирають крупнозернистим кругом), зменшуючи висоту шлиців до 6...8 мм.

Загальним недоліком всіх способів наплавлення шлиців по спіралі з заплавленим западин є те, що при цьому в 2...3 рази збільшується витрата електродного матеріалу і електроенергії, відповідно підвищується трудомісткість наплавочних робіт і подальшої механічної обробки. Істотно зростають також деформації деталей і, крім того, внаслідок великого нагріву порушується термічна обробка практично всіх ділянок деталі.

Значно більше економічна поздовжня наплавка бічних поверхонь шлиців, тому слід прагнути до більш широкого застосування цього технологічного варіанту.

Наплавлення ведуть з таким розрахунком, щоб шар виступав над поверхнею шлица на 1,2...2 мм. Це дозволяє в подальшому забезпечити нормальний розмір валу по центруючому діаметру. Наплавлений вал відпалюють на високочастотній установці, що полегшує механічну обробку. Обточують вал різцем з твердосплавною пластиною Т15К16 при частоті обертання 400 об / хв.

Для валів з великими шлицями застосуємо спосіб відновлення шлиців контактним зварюванням і тиском. При цьому способі до вершин шлиців контактним зварюванням приварюють присадочний матеріал (смугу або дріт) з одночасною осадкою і роздачею шлиців по ширині. Присадний матеріал може подаватися з касети, що знаходиться на зварювальній машині, або підготовлятися у вигляді відрізків необхідної довжини з попередньою прихваткою їх до шлиців в одній або декількох точках (в залежності від довжини шлиців). Осадка і роздача шлиців при зварюванні компенсують знос і забезпечують припуск на подальшу обробку.

Шлицевой вал з присадним матеріалом закріплюють в установочному пристосуванні і пневмоциліндром притискають до зварювальних роликів. Після включення зварювального струму одному з роликів надають коливальний рух за допомогою профільного кулачка. При зближенні роликів відбувається осадження нагрітих до температури зварювання ділянок шлиців, що контактують з роликами, а при розведенні роликів на деяку величину - переміщення вала на 10...15 мм і нагрів наступних ділянок. Таким чином,

відбуваються наплавка і осадження одночасно двох протилежних шліців по всій їх довжині. Швидкість наплавлення двох шліців на оптимальних режимах становить в середньому 30...50 м/год (в залежності від типорозмірів). Після наплавлення однієї пари шліців ролики розходяться і вал повертається на відповідний кут для наплавлення наступної пари.

При невеликому зносі шліців відновити їх можна методом пластичного деформування роликівими розкатними головками. Спосіб заснований на роздачі шліца по ширині, переважно у верхній його частині, вдавленням ролика. При цьому вдається компенсувати знос шліців на величину до 2 мм (в залежності від ширини шліца).

Шліцеремонтну головку монтують на пресі. Шлицеву ділянку слід нагрівати (700...800° С) за допомогою індукційної високочастотної установки. Необхідне зусилля для розкатування близько 25 тс. Припуск на подальшу обробку необхідно давати 0,2...0,25 мм, що дозволяє застосувати тонке шліцефрезерування, отримати високу точність обробки і шорсткість поверхні в межах 6...7.

Відновлення різбових ділянок валів ведеться вібродуговим наплавленням або контактним приварюванням дроту. Вібродуговою наплавку слід проводити без подачі охолоджуючої рідини на різбову ділянку деталі, що наплавляється. Це дозволяє в подальшому проводити нарізку нового різблення. Рідиною треба змащувати шийки і шліци валів щоб уникнути їх перегріву і порушення їх термічної обробки.

#### **Список використаних джерел**

1. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: "Колос", 1981. – 351 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985.– 424 с.
3. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА  
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРА ВАЛА  
ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТРАКТОРІВ ХТЗ-17221**



*Грибенюк О.О., студент  
Сиволапов В.А., ст. викладач*

Редуктор ВВП – одноступінчастий, з шестернями постійного зачеплення і гідропідтискною муфтою блокування веденої шестірні з вихідним валом. Автоматичне дискове гальмо редуктора гальмує вихідний вал при виключенні ВВП, автономна гідросистема забезпечує плавне включення ВВП і надійне мащення деталей редуктора. Корпус редуктора і закріплений до нього знизу піддон відлиті з алюмінієвого сплаву.

Можливі несправності ВВП, способи виявлення та усунення.

Вал відбору потужності (ВВП) - один з найскладніших і найменш захищених вузлів трактора. При цьому потужність, що передається через ВВП, часто порівнянна з потужністю, що передається через коробку передач. Конструктивно ці вузли подібні, але умови експлуатації різні. Так коробка передач має обсяг масла до сорока літрів, а редуктор ВВП тільки чотири. Крім того коробка передач має фільтр тонкої очистки масла, систему охолодження і манометр, а ВВП цих вузлів не має.

Влітку, при високій температурі навколишнього повітря і високих навантаженнях, редуктор ВОМ перегрівается. Малий обсяг масла і відсутність охолодження призводить іноді до підвищення температури масла і всього ВВП до 160° С. А найменше попадання абразивних частинок в гідравлічну систему призводять до виходу редуктора з ладу.

Але руйнування корпусу ВВП цілком на совісті експлуатаційників. При агрегуванні трактора з сільхозмашинами, які вимагають привід від ВВП, необхідно від'єднувати розтяжки навісної системи. Інакше, при поворотах, карданний вал причіпний машини буде впирається в розтяжки, гнути вал ВВП або зривати корпус з кріплень.

Карданний вал причіпний машини повинен легко пересуватися в телескопічному з'єднанні і мати достатній вільний хід. При недостатньому

вільному ході при переїзді нерівностей, особливо типу "кювету" вся маса причіпної машини буде зосереджуватися на корпусі ВВП і зривати його з кріплень або руйнувати його.

Включати ВВП під навантаженням при механічному управлінні необхідно плавно. Плавність включення гідروпіджимної муфти ВВП залежить від швидкості переміщення важеля управління. При включенні важіль переміщається знизу - вгору - назад, при виключенні - навпаки.

При експлуатації механічного приводу управління ВВП в результаті витягування троса і зносів шарнірів може бути порушено регулювання дистанційного керування. Якщо система відрегульована правильно, то при фіксуванні засувкою важеля в верхньому положенні важіль повинен бути притягнутий вперед до упору в гвинт. Регулювання здійснюється різьбовою вилкою.

Технічний стан редуктора ВВП можна оцінити методом діагностування.

Перевірка подачі насоса гідросистеми ВВП і витоку масла в ній. Підключити прилад КИ-6285-ГОСНИТИ до гідросистеми, для чого: виверніть пустотілі болти нагнітального трубопроводу насоса і встановіть на їх місце перехідні штуцери 1 і 2 (рис. 1); виверніть з корпусу редуктора ВВП пробку-сапун і приєднайте перехідний штуцер 8; приєднайте нагнітальні шланги 3, 5 і 7 відповідно до штуцерів 8, 2 і 1; встановіть рукоятку 6 - в положення "1", пустіть двигун, включите ВВП і прогрійте масло в гідросистемі до 313 - 323 К (40 - 50° С).

Визначте подачу насоса. Для цього встановіть номінальну частоту обертання колінчастого вала 2100 об/хв і визначте за показаннями приладу тиск масла і подачу насоса.

Якщо подача насоса нижче 9,9 л/хв, насос підлягає ремонту.

Перевірте витрату масла. Для цього перекажіть рукоятку 6 приладу в положення "3", а рукоятку 4 - залиште в положенні "ВВП". Закрутіть до відмови регулювальний гвинт перепускного клапана, помітивши його початкове положення, і при номінальній частоті обертання визначте витрату масла. Встановіть регулювальний гвинт перепускного клапана в початкове положення.

Якщо витрата масла виявиться менше 6,9 л/хв при подачі насоса не нижче 9,9 л/хв, агрегати гідросистеми підлягають ремонту.

Перевірка стану клапанів гідросистеми ВВП.

Перевірте клапан плавного включення. Для цього загорніть до відмови регулювальний гвинт перепускного клапана. Переведіть рукоятку 4 положення "О" (рукоятку 6 залиште в положенні "З") і за показами манометра приладу визначте тиск спрацювання клапана плавного включення.

Номінальний тиск спрацювання клапана дорівнює 1,2 - 1,3 МПа. Якщо тиск виявиться нижче 1,1 МПа, клапан слід відрегулювати за допомогою регулювального гвинта 10.

Перевірте перепускний клапан. Для цього, не змінюючи положення рукоятки приладу, при номінальній частоті обертання виверніть регулювальний гвинт перепускного клапана 9 до досягнення тиску 0,95 - 1,0 МПа (9,5 - 10,0 кгс/см<sup>2</sup>).

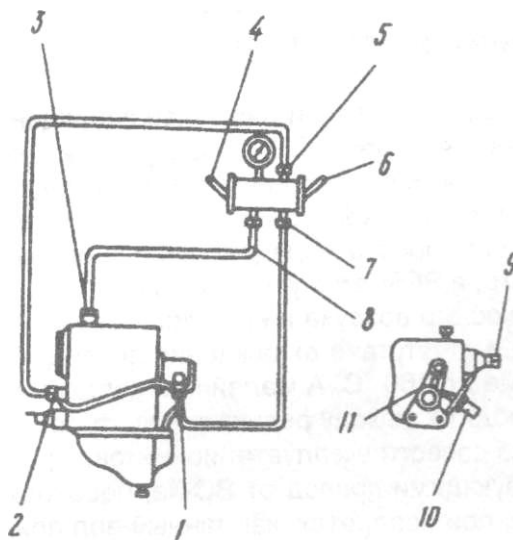


Рис. 1. Схема підключення приладу КІ-6285-ГОСНИТИ до гідросистеми ВВП:

1, 2, 8 - штуцери перехідні; 3 - шланг зливний; 4 - рукоятка приладу ліва; 5 - шланг нагнітальний "Н2"; 6 - рукоятка приладу права; 7 - шланг нагнітальний; 9, 10 - гвинти регулювальні; 11 - важіль включення муфти ВВП

Основні дефекти корпусу редуктора ВВП – тріщини, зломи, пошкодження різьби, неплотинність привалкових поверхонь, спрацювання поверхонь. Неплотинність привалкових поверхонь допускається не більше як 0,1 мм.

Корпус редуктора ВВП вибраковуюють при наявності тріщин, які виходять на посадочні поверхні, зломів і пробоїн. Спрацьовані поверхні під кришки і стакани підшипників відновлюють місцевим насталюванням або розточуванням

і встановленням сталених кілець. В разі жолоблення привалкових площин їх шліфують.

Тріщини, які не виходять на посадочні поверхні, заварюють. Кромки тріщин зачищають щіткою із нержавіючого дроту діаметром 0,15 мм і знежирюють. Безпосередньо перед зварюванням кромки тріщини травлять у 10%-йому розчині їдкого натрію або їдкого калію при температурі 50...70° С, освітлюють в 10%-ному розчині азотної кислоти при 18...20° С, після чого промивають гарячою водою і сушать. Після травлення і освітлювання кромки тріщини повинні мати сріблито-матову поверхню без нальоту та бруду.

Корпус редуктора ВВП нагрівають до температури 240...250° С протягом 1 години і заварюють тріщини аргонно-дуговим зварюванням неплавким вольфрамовим електродом діаметром 5 мм з присадковим прутком діаметром 4 мм із сплаву АЛ11. Зварний шов повинен бути рівним, щільним, без тріщин, пористості, непроварених місць і напливів. Після зачищення зварного шва його перевіряють на герметичність за допомогою гасу. При цьому на поверхні шва, обробленій крейдою, протягом 5 хв не повинні появлятися плями гасу.

Основними дефектами ведучого і веденого валів є спрацювання поверхонь під шарикоїдшипники, сальники і кільця гідорозподільника, шліців та шліцьових пазів, пошкодження різьби, деформація, органічні і мінеральні відклади в каналах.

Пошкоджену різьбу валів наплавляють віброконтактним способом, обточують до нормальних розмірів, свердлять отвори, фрезерують лиски і нарізають нову різьбу.

Спрацьовані шліци наплавляють у середовищі вуглекислого газу, вал обточують, фрезерують шліци, гартують їх за допомогою струму високої частоти і шліфують вал до нормального діаметра.

#### **Список використаних джерел**

1. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: "Колос", 1981. – 351 С.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985.– 424 С.
3. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 С.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ДИСКРЕТНИХ МЕХАНІЗМІВ ПОДАЧІ ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

*Семіоненко С.С., студент*  
*Семеновський О.Є., к.т.н., доц.*



Для зняття поверхневого шару під час різання, заготовки та інструмента надають робочі рухи певного напрямку і швидкості. Закономірності поєднання рухів під час взаємодії інструмента і заготовки вивчає кінематика процесу різання. Найчастіше кінематика процесу різання базується на поєднанні рівномірних рухів – обертального і поступального.

Рухи, які забезпечують процес різання поділять на головний рух  $D_r$  і рух подачі  $D_s$ . Головний рух – це рух заготовки чи інструмента, що здійснюється з найбільшою швидкістю в процесі різання, він забезпечує перетворення зрізуваного шару в стружку. Рухом подачі називається рух заготовки чи інструмента швидкість якого менша швидкості головного руху і призначений для поширення процесу відокремлення шару матеріалу на всю оброблювану поверхню [1].

Технологічні процеси автоматизованої подачі заготовок в зону оброблення в машинобудуванні характеризуються неперервною або періодичною дією подаючих механізмів. Не перервно подають переважно сипкі матеріали, дрібні заготовки та інше. Періодичної подачі потребують заготовки, які поступають у вигляді брусів або рулонів для подальшої їх різки на мірні куски. Для автоматизованої подачі таких заготовок на певну відстань використовують механізми дискретної дії.

В сучасних верстатах для забезпечення руху подач, як правило, застосовують храпові механізми (рис. 1), що мають дискретну дію і тому зазнають значних динамічних знакозмінних навантажень в процесі експлуатації.



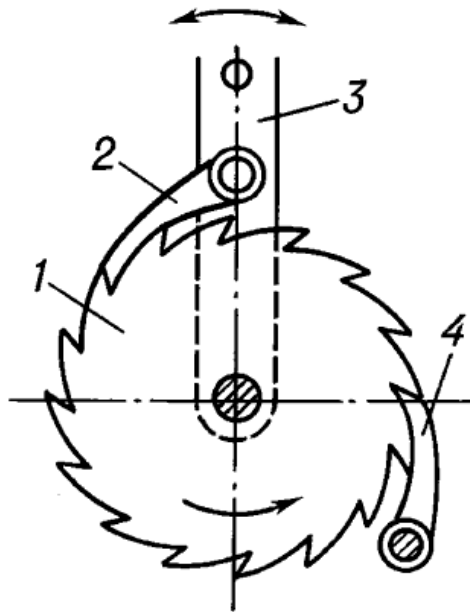


Рис. 1. Кінематична схема храпового механізму

### Висновки

1. Для забезпечення дискретності та точності подачі заготовок в сучасних верстатах використовуються храпові механізми, які в процесі експлуатації зазнають значних динамічних навантажень та мають високі шумові характеристики.
2. Для забезпечення більш широкого діапазону регулювання необхідно використовувати механізми з не дискретною кінематикою, що дасть можливість покращити динамічні та шумові характеристики верстатів.

### Список використаної літератури

1. Опальчук А.С., Афтандіянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Підручник – Ніжин:Видавець ПП Лисенко М.М., 2013.-752 с.
2. Капустин, А.В. Математическое моделирование процессов резания древесины // Шестые Вавиловские чтения. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2002.-С.204-205.
3. Гурик О. Механізм періодичної подачі заготовок // Тернопільський державний технічний університет імені І.Пулюя, 2015. - 20 с.

УДК 621.952

## ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЗІ ШПОНУ

*Стаценко С.В., студент*  
*Похиленко Г.М., ст. викладач*



В даний момент на ринку відбуваються зміни, які змінюють напрям розвитку виробів для харчової промисловості в сторону екологічності. Відмову від виробів з пластику та перехід на екологічно чисті матеріали такі як вироби зі шпону.

З кожним роком актуальність виробів зі шпону стає все більшою, але українські виробники не можуть забезпечити внутрішній ринок вказаними виробами, через відсутність ефективного сучасного обладнання для виготовлення виробів зі шпону.

Натуральний шпон, в залежності від способу виробництва, може бути пиляним, луцценим і струганим.

Технологічні лінії луццання включають конвеєрні системи подачі деревини, луцильні верстати, пристрої прийому стрічки шпону, ножиці для розкрою стрічки шпону, пристрої для вкладання шпону, конвеєри або пристрої для відбору кускового шпону і конвеєри видалення відходів луццання шпону. Лінія виготовлення виробів зі шпону для харчової галузі включає в себе наступне обладнання (рис.1.).



Рис. 1. Послідовність технологічного процесу виготовлення виробів зі шпону

## Основні етапи виготовлення виробів зі шпону

1. Підготовка деревини для подальшого оброблення та задання відповідних розмірів заготовки для нарізання шпону
2. Нарізання шпону на луцильному або різальному верстаті
3. Висікання шпону
4. Шліфування та полірування отриманих виробів з шпоно висічного верстату за рахунок зміни частоти обертання барабану установки від 20 до 150 об/хв а також використання абразиву від 30 до 500 мкм
5. Етап пакування.

На основі даних комплексного аналізу існуючих технологій виготовлення виробів зі шпону було розроблено основні принципи проектування автоматичних та напівавтоматичних ліній виробництва шпону і шаруватих матеріалів.

## Висновки

1. Верстати й агрегати, які є в лінії, повинні мати самостійні органи керування для їхнього запуску і зупинення. Всі автоматичні та напівавтоматичні лінії повинні забезпечуватися центральним пультом керування.
2. Всі верстати в лінії повинні розміщуватися послідовно відповідно до технологічного процесу і мати систему блокування для її дотримання. Для контролю за якісним виконанням технологічного процесу встановлюють контрольні прилади.

## Список використаної літератури

1. Опальчук А.С., Афтандіянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Підручник – Ніжин:Видавець ПП Лисенко М.М., 2013.-752 с.
2. Бехта Павло Антонович. Виробництво і обробка лущеного та струганого шпону: навч. посібник для студ. лісотехнічних вузів/ П. А. Бехта ; Український держ. лісотехнічний ун-т. - К. : 1995. - 296 с.
3. Фокин С.В., Шпортько О.Н. Деревообработка, Технологии и оборудование, 2017.
4. Бехта П.А. Виробництво шпону: Підручник. - Львів, 2002.- 252с.
5. Крамар В.Д. Технологічні розрахунки у виробництві струганого шпону : Метод. Посібник. – Львів, : УкрДЛТУ, 1995. – 51 с.

6. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН/ [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл.

УДК 621.952

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМУ ШПОНО-ПРОСІЧНОГО ВЕРСТАТА

*Форосянко П.А., студент*  
*Семеновський О.Є., к.т.н., доц.*



Вузли верстатів, що використовуються безпосередньо для висікання дерев'яних виробів зі шпону зазнали значних конструктивних змін, що дало можливість значного здешевлення обладнання. При цьому зменшилась універсальність верстатів, але необхідність в ній не доцільна в серійному виробництві. В існуючому обладнанні використовувався кривошипно-шатунний механізм, що також забезпечував зворотно-поступальний рух висічного ножа в широкому діапазоні амплітуд. Такий привід головного руху досить складним, як у виготовленні та обслуговуванні. Розроблені вузли верстатів забезпечують головний рух різання (висікання шпону), за допомогою зворотно поступального руху кулачкового механізму. Запропонований кулачковий механізм має незначну амплітуду руху, але в ній не має необхідності, тому що оброблювальний матеріал – шпон, має незначний розбіг з товщиною (від 0,7 до 1,4 мм). Задача кінематичного дослідження кулачкового механізму полягає у визначенні законів руху штовхача (залежностей переміщень, швидкостей та прискорень від кута обертання кулачка) при заданій формі робочого профілю кулачка та геометричних параметрах інших ланок механізму.

Найчастіше такі дослідження проводяться у випадках, коли робочий профіль кулачка окреслено сполученими дугами кіл (дуговий випуклий або увігнутий профіль) або дугами кіл і прямими (тангенціальний профіль).

Розв'язання таких задач може виконуватись за допомогою графічних, графоаналітичних (метод замічних механізмів), або аналітичними методами.

### **Висновки**

1. Розроблений кулачковий механізм приводу головного руху шпоновисічного верстату забезпечує незначну амплітуду руху, тому що оброблювальний матеріал – шпон, має стабільну товщини.
2. Вузли верстатів, що використовуються безпосередньо для висікання дерев'яних виробів зі шпону, завдяки використанню приводу головного руху від кулачкового дало можливість значно зменшити вартість обладнання.
3. Недоліком зниження вартості обладнання є зменшення універсальність верстатів, але все залежить від виду виробництва.

**УДК 624.045.12**

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ**



*Токарева К.М., студентка*

*Яковенко І.А., д.т.н., доц.*

Під конструкцією купола у будівництві розуміють тонкостінне просторове покриття [1], яке являє собою оперту на розтягнуте опорне кільце оболонку, утворену обертанням плоскої кривої навколо вертикальної осі.

В окремих випадках, із метою забезпечення попадання в приміщення природного освітлення, у вершині купола влаштовують центральний отвір, обрамлений кільцем, яке в подальшому працює на стиск [2].

Для створення умов безмоментної роботи купола опорне кільце повинне мати можливість вільно переміщатися у радіальних і кутових напрямках при температурних впливах, зміни навантаження та ін.; меридіональні зусилля спрямовані по дотичній до меридіану і визначаються за наступною формулою [3]:

$$N_1 = \frac{F_\varphi}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot \sin^2 \cdot \varphi}, \quad (1)$$

де  $F_\varphi$  – вертикальна рівнодіюча зовнішнього навантаження, яка діє на частину оболонки, розташовану вище розглянутого горизонтального перерізу з кутом розкриття  $2\varphi$  (рис. 1).

Кільцеве зусилля обчислюється за формулою:

$$N_2 = r_2 \cdot \left( F_n - \frac{N_1}{r_1} \right), \quad (2)$$

де  $F_n$  – нормальна складова до поверхні купола зовнішнього навантаження на одиницю площі поверхні.

Меридіональні зусилля  $N_1$  незалежно від кута  $\varphi$  завжди сприймають зусилля стиску. Кільцева поздовжня сила  $N_2$ , яка є стискаючою у місці розташування полюса переходить через нульове значення і переходить у розтяг.

Кільцевий переріз із нульовими значеннями зусилля  $N_2$  називають швом переходу. Цей шов відповідає куту  $\varphi_0$ , який обчислюється з умови, що  $N_2 = 0$ :

$$\cos \varphi_0 - \frac{1}{1 + \cos \varphi_0} = 0 \quad \text{чи} \quad \cos^2 \varphi_0 + \cos \varphi_0 - 1 = 0, \quad \text{звідки} \quad \varphi_0 = 51^\circ 49'.$$

Таким чином, якщо центральний кут розкриття пологого купола менше  $2\varphi_0 = 103^\circ 38'$ , то у ньому не виникає розтяг, спрямований у кільцевому напрямку; при куті  $2\varphi_0$  більше зазначеного – у кільцевих перерізах, нижче шва переходу, виникають кільцеві зусилля розтягу.

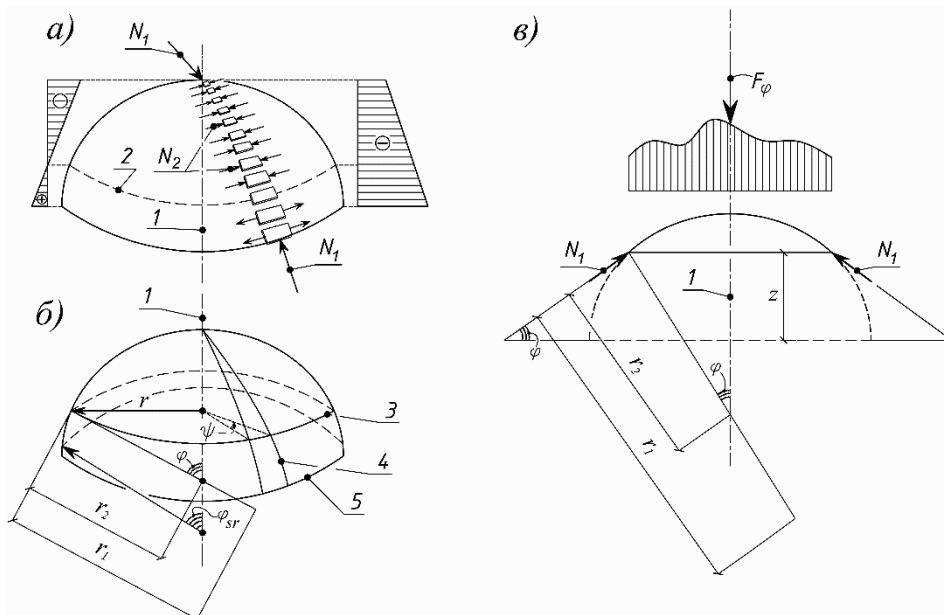


Рис. 1. До аналізу напружено-деформованого стану купола:

а – розподіл навантаження зусиль  $N_1$  та  $N_2$  (ліворуч – еюра зусиль  $N_2$ , праворуч – еюра зусиль  $N_1$ ); б – геометрія купола; в – схема врівноваження відрізаної частини купола погонним зусиллям  $N_1$  у даному широтному перерізі; 1 – вісь обертання куполу; 2 – шов переходу; 3 – поточна паралель; 4 – меридіан; 5 – гранична паралель

При рівномірно-розподіленому навантаженні, яке діє по горизонтальній проекції купола,  $N_2 = 0$  при  $2\varphi_0 = 45^\circ$ .

Отже повністю стиснутий купол може бути тільки при  $2\varphi_0 < 90^\circ$ .

Цю умову рекомендується враховувати при проектуванні куполів [1, 4].

У перерізах оболонки з кутом  $\varphi > 60^\circ$

$$N_1 = -N_2 = \frac{0,218 \cdot s_0 \cdot r_c}{\sin^2 \varphi} + \frac{0,0422 \cdot s_0 \cdot r_c \cdot \cos \psi}{\sin^3 \varphi}, \quad (3)$$

де перший доданок є складовою від симетричного розташування снігу, другий – від одностороннього.

Погонний розпір купола визначається за наступною залежністю:

$$H_{sr} = \frac{F_{\varphi_{sr}}}{2\pi \cdot r_2 \cdot \sin \varphi_{sr} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{sr}}, \quad (4)$$

де  $F_{\varphi_{sr}}$  – повне вертикальне навантаження на купол;  $\varphi_{sr}$  – половина центрального кута дуги оболонки купола в меридіональному напрямку (рис. 1, б).

Розпір купола  $H_{sr}$  викликає у поперечних перерізах опорного кільця поздовжні зусилля  $N_{sr}$ :

$$N_{sr} = H_{sr} \cdot r_2 \cdot \sin \varphi_{sr} = \frac{F_{\varphi_{sr}}}{2\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi_{sr}}. \quad (5)$$

### Висновки

1. При розгляді будь-якого купола обертання (рис. 1), який працює в умовах безмоментного напружено-деформованого стану, його вплив на опорний контур характеризується наявністю вертикальної і горизонтальної складових сили  $N_1$ . Горизонтальна складова (названа розпором) сприймається повністю опорним кільцем, яке монолітно пов'язане з оболонкою.

2. У положому куполі опорне кільце зазвичай потрапляє вище шва переходу. Тому кільцеві зусилля у перерізі оболонки, яка безпосередньо примикає до кільця є стискаючими, в той час як саме опорне кільце – сприймає зусилля розтягу. У зв'язку з цим, у сполученні з'являються меридіональні згинальні моменти, які є швидко затухаючими по напрямку від опорного кільця вздовж меридіана (крайовий ефект).
3. Куполи, у яких немає шва переходу, не можуть працювати як безмоментні. Уникнути впливу крайового ефекту можна шляхом створення в опорному кільці попереднього обтиснення напруженою арматурою [5]. Можна вибрати таку величину обтиску, при якій забезпечується рівність кільцевих зусиль опорного кільця і кільцевого волокна оболонки купола. Крайовий ефект можна усунути для будь-якого одного певного навантаження, наприклад, для повного або тільки для постійного. При зміні величини навантаження крайовий ефект все ж проявляється, але значно менше.

#### **Список використаних джерел**

1. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини: підручник / А.М. Павліков. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 284 с.
2. Справочное пособие по строительной механике : учебное пособие / [Верюжский Ю.В., Гольшев А. Б., Колчунов В.И. и др.]. – М. : АСВ, 2014. – Т.П. – 432 с.
3. Леденёв В.В. Примеры расчета пространственных железобетонных конструкций покрытия : учебн. Пособие : в 2-х ч. / В.В. Леденёв, А.В. Худаков. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГГУ, 2010. – Ч. 1. – 80 с.
4. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
5. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).



**ПОРІВНЯННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ  
ПОКАЗНИКІВ РУЛОННОЇ ПОКРІВЛІ З ПВХ  
МЕМБРАНИ І МАСТИКОВОЇ ПОКРІВЛІ НА  
ОСНОВІ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙНИХ  
КОМПОЗИЦІЙ З ДОДАВАННЯМ СИНТЕТИЧНОГО  
ЛАТЕКСУ СКС-65ГП**



*Жук С.А., студент*  
*Ярмоленко М.Г., к.т.н., проф.*

У порівнянні з іншими частинами будинку - покрівля піддається найбільшим атмосферним впливам. Разом з фундаментом і цоколем, вона забезпечує необхідну довговічність будинку. Влаштування покрівель один із трудомістких і немеханізованих процесів. Тому тип покрівельного матеріалу та конструкцію слід обрати враховуючи: довговічність матеріалів покриття, ухил покрівлі, економічне та технічне обґрунтування обраної покрівлі, а також врахування матеріалів покриття за місцем розташування будівлі чи споруди.

Порівняння техніко-економічних показників двох типів покрівлі проводилось для промислової будівлі (деревооброблювального цеху) з розмірами в осях 24,0x65,0 м, ухил даху - 6°, площа покрівлі - 1620 м<sup>2</sup>, несучими елементами будівлі є фундаменти стаканного типу, колони прямокутного перерізу та металеві ферми трепецевидної форми. При розробці проекту будівлі враховувались матеріали за місцем розташування об'єкта.

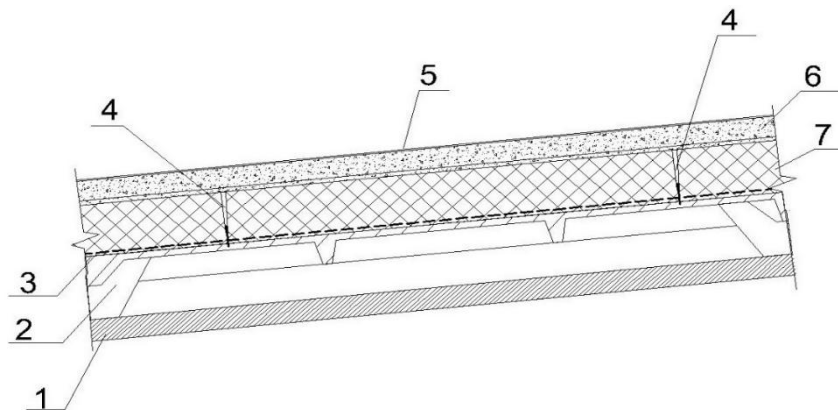


Рис. 1. Вузол влаштування мастикової покрівлі на основі бітумно емульсійних композицій з додаванням синтетичного латексу СКС – 65ГП:

1 – верхній пояс металевої ферми; 2 – ребриста плита, 2980x300(h) мм; 3 – пароізоляція; 4 – дюбель GOK з турбовинтом; 5 – захистний шар і 3 шари мастики,  $t = 8$  мм; 6 – ц/п стяжка,  $t = 50$  мм, з армуванням сіткою Вр-1 100x100 мм  $\varnothing 4$ ; 7 – мінеральна вата,  $\rho = 145$  кг/м<sup>3</sup>,  $t = 250$  мм

Вузол влаштування мастикової покрівлі на основі бітумних емульсійних композицій з додаванням синтетичного латексу СКС – 65ГП див. рис. 1, для влаштування мастики потрібна рівна основа, в даному випадку використовується армована цементно-піщана стяжка.

Вузол влаштування рулонної покрівлі з ПВХ мембрани див. рис. 2, для мембрани було обрано механічний спосіб фіксації з приклеюванням згідно з діючими будівельними нормами, для основи було прийнято мінеральну вату  $\rho = 160$  кг/м<sup>3</sup>.

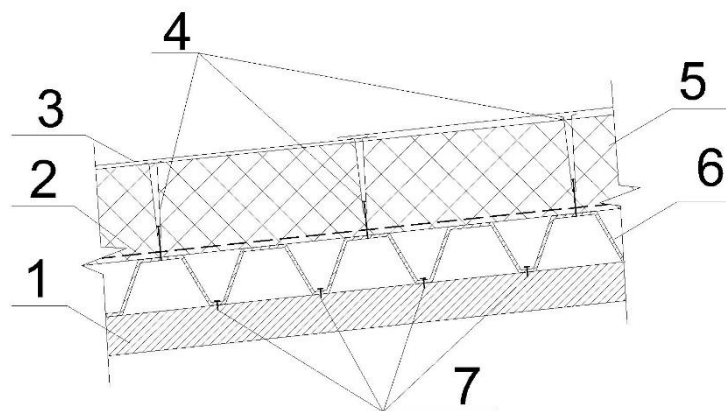


Рис. 2. Вузол влаштування рулонної покрівлі з ПВХ мембрани: 1 – верхній пояс металевої ферми; 2 – пароізоляція; 3 – ПВХ мембрана з захистним шаром; 4 – дюбель GOK з турбовинтом; 5 - мінеральна вата,  $\rho = 160$  кг/м<sup>3</sup>; 6 – профільований лист Т135,  $t = 0,8$  мм; 7 – саморіз по металу з прокладкою

### Висновки

Було отримано таблицю порівняння техніко-економічних показників по об'єкту мастикової покрівлі на основі бітумних емульсійних композицій з додаванням синтетичного латексу СКС – 65ГП та рулонної покрівлі з ПВХ мембрани див. таб. 1.

Проаналізувавши дані, що були отримані можна зробити висновок – рулонна покрівля з ПВХ мембрани по вартості є дешевшою, довговічнішою, менш вибаглива до ухилу покрівлі та несе менше навантаження на несучий

елемент, в даному випадку металеву ферму, ніж мастикова покрівля покрівлі на основі бітумно емульсійних композицій з додаванням синтетичного латексу СКС – 65ГП, яка в свою чергу має меншу трудомісткість, кращий рівень механізації.

Таблиця 1. – Порівняння техніко-економічних показників по об'єкту

Показник	Покрівля	
	Рулонна ПВХ мембрана	Мастикова з дод. синтет. латексу
Вартість, матеріал, грн.	270 000	470 000
Трудомісткість, люд-змін	10,8	4,1
Рівень механізації, %	10	66-70
Довговічність, рік	35-40	20 - 25
Допустимий ухил, %	без обмежень	0-50
Навантаження на ферму, т/м кв	0,23	0,56

#### Список використаних джерел

1. Покриття будівель та споруд : ДБН В.2.6-220:2017. – [Чинний з 2018-01-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2018. – 53 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Технологія будівельного виробництва: підручник / [Черненко В.К., Ярмоленко М.Г. та ін.]. – К. : Вища шк. , 2002. – 430с.
3. Технологія будівельного виробництва : підручник / [Ярмоленко М.Г. та ін.]. – К.: Вища шк. , 2005. – 342с.

4. Архитектурное конструирование: Учебник / [Пономарев В.А.]. – М.: Архитектура-С, 2008. — 738 с.
5. Навантаження і впливи : ДБН В.1.2-2:2006. – [Чинний з 2007-01-10]. – К.: Мінгеріонбуд України, 2007. – 75 с. – (Державні будівельні норми України).

**УДК 378.147.624**

## **ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ**

*Іваненко Є.В., студент*  
*Ярошенко М.Г., к.т.н., проф.*



Для досліджень в роботі було взято станція технічного обслуговування сільськогосподарської техніки в м. Черкаси з характеристикою об'єкта: загальна площа- 8 640м<sup>2</sup>; розміри будівлі-144,000х60,000м; висота поверху-10,800м, марка отоплювального приладу-М-90.

Відповідно до ДСТУ- НБВ.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" параметри зовнішнього повітря:

- температура найбільш холодних п'яти днів,  $t_{\text{зов}} = -20^{\circ}\text{C}$
- температура середня за отоплювальний період,  $t_{\text{с.п.}} = +0,3^{\circ}\text{C}$
- тривалість отоплювального періоду  $n = 183$  доби;
- середня швидкість вітру за січень  $v = 6.4$  м/с

Згідно з ДБН В.2.6 - 31:2016 "Теплова ізоляція будівель":

Зона вологості - суха (А).

Виконуємо теплотехнічний розрахунок зовнішньої стіни

$$R_{\text{СТ}}^{\text{Н}} = \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{зов}}) \cdot a_{\text{в}}}{\Delta t_{\text{зов}}} \quad (1)$$

де  $n$  - коефіцієнт, що приймається в залежності від положення огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря, для громадських та адміністративних будівель приймають: для зовнішніх стін та безгорищних

перекриттів  $n=1$ ; для горищних перекирів  $n=0,9$ ; для перекирів над проїздами, підвалами та підпіллями  $n=0,6$ ;

$t_B$ -розрахункова температура внутрішнього повітря, °C;

$t_{зov}$ -розрахункова змова температура зовнішнього повітря, °C що дорівнює середньому значенню найбільш холодних п'яти днів;

$\Delta t_{зov}$ -нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, для громадських та адміністративних будівель приймають: для зовнішніх стін  $\Delta t_{зov}=7^\circ\text{C}$ ; для покриттів та горищних перекирів  $\Delta t_{зov}=5,5^\circ\text{C}$ ;  
 $a_B$ - коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій, для стін, підлоги та гладкої стелі  $a_B=0,133$  (Вт/м<sup>2</sup>/°C).

Для зовнішньої стіни:

$n = 1$ ;

$t_B = + 20^\circ\text{C}$ ;

$t_{пoклик} = -20^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t_{пoклик} = 7^\circ\text{C}$ ;

$a_B = 0,133$  (Вт/м<sup>2</sup>\*°C).

$$R_{CT}^H = \frac{1(20 - (-20)) * 0,133}{7} = 0,76 \text{ (м}^2 \cdot \text{K/Вт)}$$

Розрахунок навісної панелі «сендвіч» зведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Визначення опору теплопередачі зовнішньої стіни

Матеріал	Товщина $\delta$ (м)	Теплопровідність $\lambda$ (Вт/м*К)	$R = \delta / \lambda$ (м <sup>2</sup> / К * Вт)
1. Тонколистова сталь	0,01	20	0,01/20=0,0004
2. Утеплювач	0,35	0,060	0,35/0,060=5,83
3. Тонколистова сталь	0,01	20	0,01/20=0,0004

Теплозахисні якості огороджувальної конструкції прийнято характеризувати величиною опору теплопередачі ( $R_{CT.зov}$ )

$$R_{CT.зov} = R_B + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{зov},$$

де  $R_B$  - опір тепловіддачі внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, м<sup>2</sup>/К\*Вт;

R/зов.- опір тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$ ;

R/n- опір тепловіддачі матеріалу,  $\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}$ ;

$\delta$ -товщина шару (м);

$\lambda$ -коефіцієнт теплопровідності ( $\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ ).

$$R_{\text{ст.зов.}}=0,133+0,0004+5,83+0,0004+0,05=6,017 (\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт})$$

Фактичне значення термічного опору огорожувальних конструкцій не повинне бути меншим необхідного:

$$R_{\text{ст.}} \geq R_{\text{ст.}}^{\text{н}}; 6,017 \geq 0,76 (\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт}) - \text{умову виконано.}$$

### Висновки

Загальний висновок можна зробити такий, що по теплопровідності найдоцільніший матеріал це ПСБ-С 25 панель  $R_{\text{ст.}} = 7,5 (\text{м}^2/\text{К}\cdot\text{Вт})$ .

З точки зору економічної частини навісні ПСБ-С 25 панелі 140992 грн.

І з цих показників доходимо до висновку що самий найдоцільніший матеріал для моєї будівлі це «Сендвіч» панель. Хоч вона і не сама найдешевша і по теплопровідності трішечки поступається ПСБ-С 25 та базальтовим волокнам але вона не горюча як ПСБ-С 25. Цей матеріал зручний в монтажі, який дуже швидко виконується. Це універсальна конструкція яку змонтував і вона виконує свою роботу тобто не потрібно нічого до утеплювати і щось видумувати там вже все прораховано і включено в цю суму грошей вона самі найкращі має показники як в плані теплопровідності так і в плані економічної сторони 2643840грн

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники

Матеріал	Теплопровідність $R_{\text{ст.}}$	Ціна грн
1.Силікатна цегла	2,593	6639656
2.Піноблок	3,863	3484600
3.Навісна з/б панель	3,535	1519521,6
<b>4.Сендвіч панель</b>	<b>6,017</b>	<b>2643840</b>
5.ПСБ-С 25	7,5	140 992
6.Базальтове волокно	7,5	807 766.6

## Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинні від 2007-04-01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. зі Зміною №1 від 1 липня 2013 року. – [Чинний від 01.04.2007]. - К.: Мінбуд України, 2006. – 70 с. – (Державні будівельні норми України).
4. Тепловая изоляция зданий: ДБН В.2.6-31:2006 – [Дата введения 2007-01-01] (с изменением № 1 от 1.07.2013 г.) / Мінбуд України — К. : Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – (Государственные строительные нормы Украины).

УДК 69

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА, ЗМЕНШЕННЯ ЙОГО СОБІВАРТОСТІ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПОСТНАПРУЖЕНИХ ПЛОСКИХ ПЕРЕКРИТТІВ**



*Дібрівний О.Г., студент*  
*Ярмоленко М.Г., к.т.н., проф.*

Будівництво - одна з найважливіших галузей народного господарства. На даний момент все більше і більше будівель і споруд в нашій країні виконуються з використанням монолітного залізобетону, На відміну від збірних конструкцій монолітний залізобетон забезпечує більшу гнучкість в області архітектурно планувальних рішень, велику структурну цілісність будівлі.

Переваги переднапруженого залізобетону перед звичайним - це, перш за все, його висока тріщиностійкість, підвищена жорсткість конструкції, а також кращий опір динамічним навантаженням, корозійна стійкість, довговічність і певний економічний ефект, який досягається застосуванням високоміцної арматури.

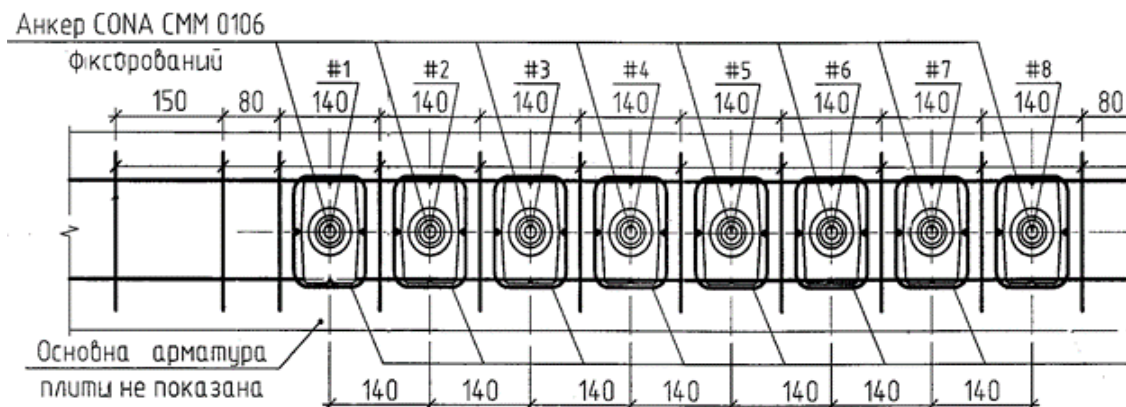
Як правило, в цивільному будівництві застосовується система попереднього напруження з використанням канатної арматури.

Суть методу в тому, що між верхньою і нижньою арматурною сіткою в майбутньому перекритті прокладаються сталеві канати. Їх розміщують зі змінною висотою розміщення в залежності від зони виникнення напруги розтягнення.

Після набору бетоном 70-75% від необхідної міцності канати піддаються нарузі. Напруга проводиться за допомогою гідравлічних домкратів-натяжників. Домкрат закріплюють навпроти одного з розміщених в бетонній конструкції, анкерів каната (активний анкер) і натягують канат з певною силою за допомогою маслостанції.

В результаті відбувається передача навантаження вигину від бетону на канати. Метод заснований на властивій бетону особливості - ставати більш стійким до руйнування при стисненні.

Розглянемо два перекриття з прогонами 9х9м, та корисним навантаженням 1000 кг/м<sup>3</sup>. Перше перекриття без постнапруги товщиною 220 мм, з балками по осях, висота балок становила 600 мм (без урахування товщини перекриття) і ширина 1000 мм. Клас бетону балок і перекриття В35, арматура А500С. Друге безбалкове перекриття з постнапругою товщиною 260 мм з напруженням його по осях канатної арматурою без зчеплення з бетоном діаметром 15,7 мм, зі сталі класу st. 1860 Н/мм<sup>2</sup>. На вісь доводилося 12 канатів в кожному напрямку. З огляду на середню довжину канатів 27 м, на плиту 9х9 м доводилося 17,8 анкерних пристроїв. Дані розрахунку приведені в таблиці 1.





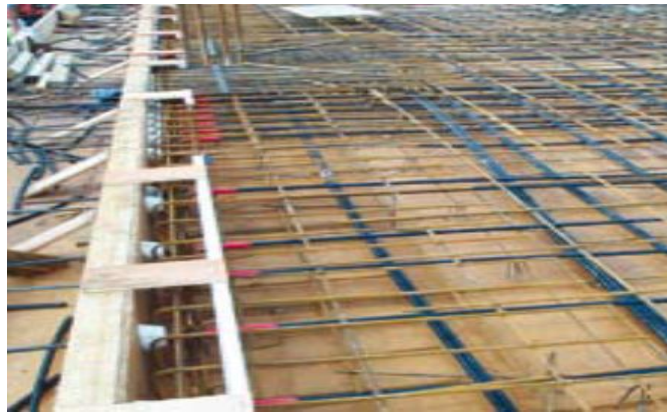


Рис. 1. Розміщення канатів в плиті перекриття

Таблиця 1 – Порівняння напружень різних типів перекриття

№ п/п.	Матеріал	Один. виміру	Плита без постнапруження	Плита з постнапруження
1	Бетон марки В35	м <sup>3</sup>	28,26	21,06
2	Арматура А500 С	кг	4050	1782
3	Опалубка	м <sup>2</sup>	101,88	81
4	Канатна арматура	кг	0	298
5	Анкера	шт.	0	17,8

Виходячи з економічних показників, незважаючи на підвищення вартості 1м<sup>3</sup> бетону, зниження кубатури бетону на перекриття склало 25,5%, що дозволило в результаті отримати економічний ефект.

Разом, пряма економія по роботах і матеріалами, за рахунок використання в перекриття попереднього напруження арматури склала 24%. Також за рахунок попереднього напруження знижене розрахункове вертикальне навантаження на колони на 19 т на кожному прогоні 9х9м, що може бути враховано при проектуванні колон і фундаментів.

### Висновок

Використання проекту з постнапруженням для плоского перекриття при зведенні будівель і споруд дозволяє при меншій собівартості будівництва на виході отримати об'єкт більш високого класу за своїми архітектурними та конструктивними показниками. Конструктивна схема з постнапруженням в плоских перекриттях дозволяє зводити будівлі з прогонами до 9 м без балок і

капітелей по всій площі перекриття.

І на закінчення варто відзначити, що технологія попереднього напруження залізобетону - нова віха в історії розвитку монолітного будівництва. Вона визначає перспективу розвитку залізобетону в якості основного матеріалу для зведення сучасних будівель і споруд в Україні.

#### **Список використаних джерел**

1. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Голока, 2017. – 627 с.
2. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).
3. Розрахунок і конструювання монолітних попередньо напружених конструкцій цивільних будівель: Портаєв Д.В. Наукове видання. - М. : видавництво АСВ, 2011. - 248 с.

**УДК 624**

### **АНАЛІЗ-СПІВСТАВЛЕННЯ ТРЬОХ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОГОРОДЖУВАННЯ КОТЛОВАНУ РОЗТАШОВАНОГО НА ОПОЛЗНЕВОМУ СХИЛІ**



*Герасименко М.А., студентка*

*Ярмоленко М.Г., к.т.н., проф.*

Метою роботи є - обґрунтування технічних рішень і вибір найбільш ефективного варіанту тимчасового огородження котловану, схилу, що дозволяє забезпечити нормативну стійкість і можливість безпечного ведення будівельних робіт при влаштуванні підземної часини проектного житлового будинку з офісними приміщеннями та вбудованою автостоянкою в Печерському районі м. Києва.



Рис. 1. Фото обгородження котловану при будівництві підземної частини житлового будинку

Для умов даного будівельного майданчика сучасні технологічні можливості дозволяють розглянути наступні варіанти влаштування обгородження, що забезпечують стійкість стін котловану і прилеглого схилу котловану:

**Варіант 1** - обгородження котловану буровими мікропаями (діаметр менше 300мм) у поєднанні з тимчасовими ґрунтовими анкерами;

**Варіант 2** - обгородження котловану буровими паями великого діаметру (більше 420мм) у поєднанні з тимчасовими ґрунтовими анкерами;

**Варіант 3** - обгородження котловану за типом "стіна в ґрунті" у поєднанні з тимчасовими ґрунтовими анкерами;

Розрахунки стійкості стін котловану виконувалися з використанням програми ЛІРА, Розрахункові моделі виконуються з врахуванням наявності на схилі протизсувних конструкцій, навантажень від ваги механізмів і існуючих будівель.

При обґрунтуванні параметрів захисних конструкцій, особлива увага приділена розрахункам міцності і деформаціями.

В процесі проведення повного комплексу розрахунків була підтверджена загальна конструктивна схема виконання обгородження котловану – «стіна в ґрунті» з додатковими тимчасовими анкерами. Виходячи з розрахунків саме цей варіант є найбільше надійнішим, що забезпечує безпечність будівлі тобто не сповзанню схилу. Будівництво котловану із захищаючими конструкціями у складі підпірних палевих стінок і ґрунтових ін'єкційних анкерів забезпечує нормативну стійкість схилу в цілому і стін котловану зокрема.

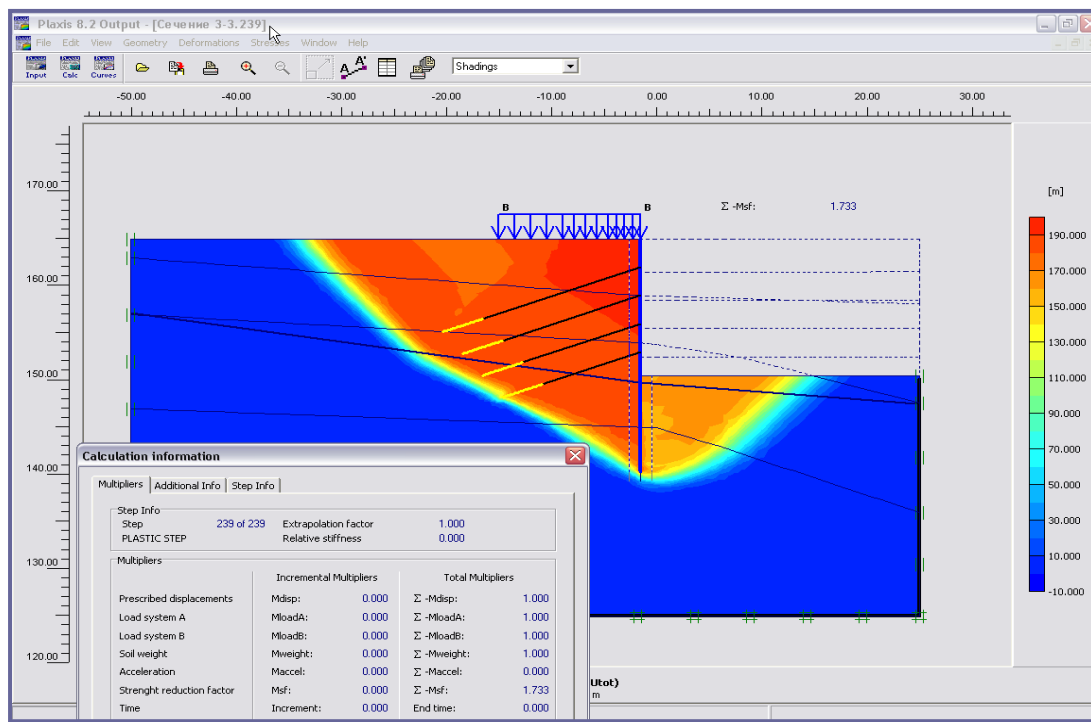


Рис. 2. Переріз 3-3. Загальна стійкість обгородження котловану,  $K_{min}=1,73$

### Висновки

1. Враховуючи інженерно-геологічну будову, існує реальна небезпека зниження ступеня стійкості ділянки;
2. На даній ділянці схилу потрібне будівництво протизсувних захисних споруд;
3. Будівництво котловану із захищаючими конструкціями у складі підпірних палевих стінок і ґрунтових ін'єкційних анкерів забезпечує нормативну стійкість схилу в цілому і стін котловану зокрема.

### Список використаних джерел

1. Далматов Б.И., Морарескул Н. Н., Науменко В. Г. Проектування фундаментів споруд и промислових конструкцій. М. : 1986. – 56с.
2. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).

**АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ТА МЕТАЛЕВОГО КУПОЛУ.  
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ**



*Заверуха Р.Б., студент*  
*Бакулін Є.А., к.т.н., доц.*

В роботі було поставлено такі задачі:

- виконати розрахунок напружено-деформованого стану металевого та залізобетонного куполу прольотом 57,2м;
- дослідити зміну зусиль та деформацій у двох варіантах куполів;
- порівняти розрахунки та обрати оптимальний варіант.

Перший варіант куполу прийнято із монолітного залізобетону товщиною 8см, оболонка опирається на монолітне кільце і жорстко з ним сполучається. Купол розраховується на наступні навантаження:

- постійне (власна вага куполу);
- снігове (згідно снігового району);
- вітрове (відповідно до вітрового району).

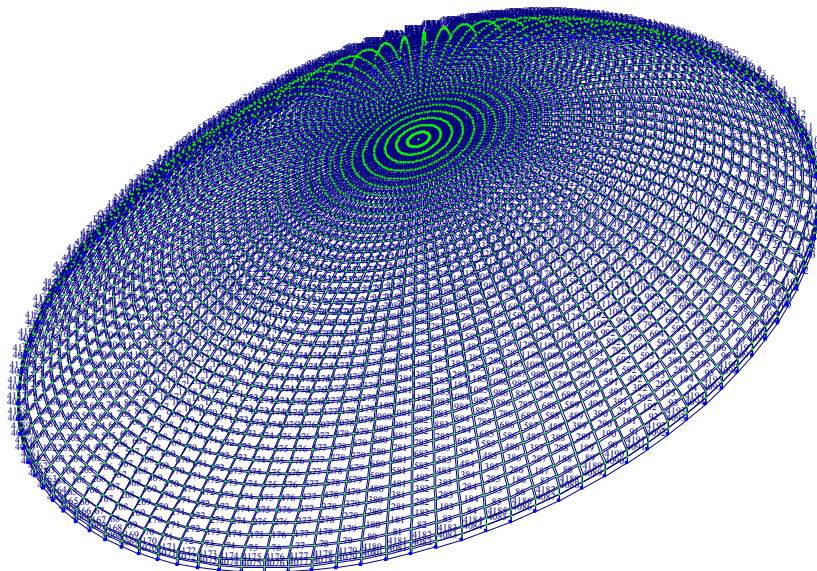


Рис. 1. Розрахункова схема залізобетонного купола з нумерацією елементів

Другий варіант - металевий купол



## Розрахунок металевого куполу виконаний в ПК Ліра

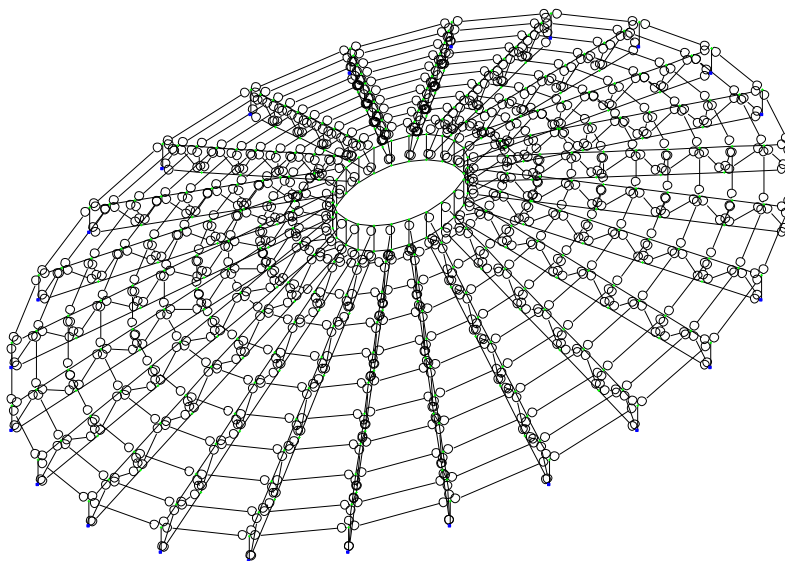


Рис. 2. Розрахункова схема металевого купола

Вибір оптимального варіанту виконаємо, проаналізувавши приблизні витрати на матеріали при виготовленні металевого та залізобетонного купола та власну вагу цих конструкцій.

Витрати матеріалів зведемо в таблицю 1 та 2

Таблиця 1 – Залізобетонний купол

	Бетон	Арматура	Покриття руберойд	Загальні витрати
Витрати	238м <sup>3</sup>	17,1т	5652м <sup>2</sup>	-
Власна вага	595т	17,1т	16,9т	629т
Орієнтовна ціна	1600 грн/м <sup>3</sup>	12000 грн/т	40грн/м <sup>2</sup>	812 080грн

Таблиця 2 – Металевий купол

	Металоконструкції	Полікарбонат сотовий	Загальні витрати
Витрати	90,7т	2826м <sup>2</sup>	-
Власна вага	90,7т	4,2т	94,9т
Орієнтовна ціна	16000 грн/т	700грн/м <sup>2</sup>	3 429 400грн

## Висновки

Проаналізувавши результати розрахунку вартості металевого та залізобетонного куполу, що наведені в табл.1–2, можна зробити наступний висновок: витрати на матеріали залізобетонного куполу у 4,2 рази менші ніж на металевий купол.

Таким чином, з точки зору економії вигіднішим для будівлі є влаштування залізобетонного куполу. З іншого боку, з вище наведених таблиць видно, що власна вага залізобетонного куполу майже у 6,5 разів більша за вагу металевого. З цього слідує, що навантаження, які передаються від куполу через опорне кільце на колони, прямо пропорційно збільшаться. Збільшення навантаження на колони приведе до підвищення навантаження і на фундаменти, за чим послідує більша витрата матеріалів або ж і зміна конструкції фундаментів.

У випадку проектування і будівництва вигіднішим є зведення залізобетонного куполу, оскільки конструкція фундаментів обрана в залежності від несприятливих геологічних умов і зміна зусиль у палях є не настільки значною, щоб змінювати конструктивні рішення. Другим фактором оптимальності вибору залізобетонного куполу є економічність витрат на матеріали.

## Список використаних джерел

1. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини: підручник / А.М. Павліков. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 284 с.
2. Справочное пособие по строительной механике : учебное пособие / [Верюжский Ю.В., Гольшев А. Б., Колчунов В.И. и др.]. – М. : АСВ, 2014. – Т.ІІ. – 432 с.
3. Васильев В. А. Металлические конструкции. – М., 1976. – 462 с.
4. Ведеников Г.С, Беленя Е.В., Игнатева В.С. и др. Металлические конструкции. Общий курс: Учеб. для вузов. – М., 1998. – 794 с.
5. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).

**АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ  
РІШЕНЬ КРІПЛЕННЯ СТІН ГЛИБОКОГО  
КОТЛОВАНУ В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ  
ЗАБУДОВИ**

*Невгад Ю.О., студент*  
*Бакулін Є.А., к.т.н., доц.*



Об'єкти міського підземного будівництва підрозділяються на протяжні (лінійні), компактні і суміщені. До лінійних споруд відносяться: транспортні тунелі, споруди метрополітену, пішохідні тунелі, колектори інженерних комунікацій, гідротехнічні колектори. Компактні об'єкти підземного будівництва мають співвідношення розмірів в плані менше 5 і включають: підземні частини будівель, гаражі-стоянки, суспільно-побутові комплекси, споруди цивільної оборони, камери інженерних комунікацій, підземні резервуари, очисні споруди тощо.

Метою роботи є розрахунок різних кріплень шпунтової огорожі котловану методом скінченно-елементного аналізу. Оцінка можливості застосування лінійного розрахунку для проектування шпунтових огорож. Економічна оцінка застосування різних конструктивних рішень кріплення стін глибоких котлованів.

Для реалізації поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Створення скінченно-елементних моделей і розрахунок спільної роботи ґрунту і різних конструктивних рішень кріплення стін глибокого котловану без урахування фізичної нелінійності. Інструментом для реалізації поставленої задачі служить ПК ЛІРА САПР;

2. Перевірка адекватності моделей і результатів розрахунків за класичним методом розрахунку підпірних стінок і огорож глибоких котлованів.

3. Оцінка можливості застосування лінійного розрахунку для проектування шпунтових огорожень.

4. Економічна оцінка застосування різних конструктивних рішень кріплення стін глибокого котловану.



В скінченно-елементній моделі кріплення стін глибокого котловану були застосовані: нелінійні елементи ґрунту, моделювання попереднього натягнення анкерів, а також моделювання процесу ескавації котловану при його розробці.

Моделювання багатоповислої основи відбувалося із застосуванням теорії міцності Кулона-Мора. Наведена технологія побудови розрахункової схеми конструкції кріплення стін глибокого котловану «стіна в ґрунті» в процесі монтажу та експлуатації. Виконаний нелінійний розрахунок системи «нелінійно-деформована основа-лінійно-деформована конструкція «стіни в ґрунті»» з врахуванням процесу монтажу та розробки котловану. Виконаний розрахунок з врахуванням модуля деформації ґрунту по гілці вторинного завнатження (врахування розвантажувальної моделі ґрунту).

Вихідні дані для розрахунку:

- розміри котловану  $b - 77$  м,  $h - 8,7$  м;
- «стіна в ґрунті»  $h - 23,7$  м;
- опори анкерів довжиною 16,5 м, розташовані під кутом  $45^\circ$ ;
- сітка профіля основи зі скінченних елементів  $1 \times 1$  м.

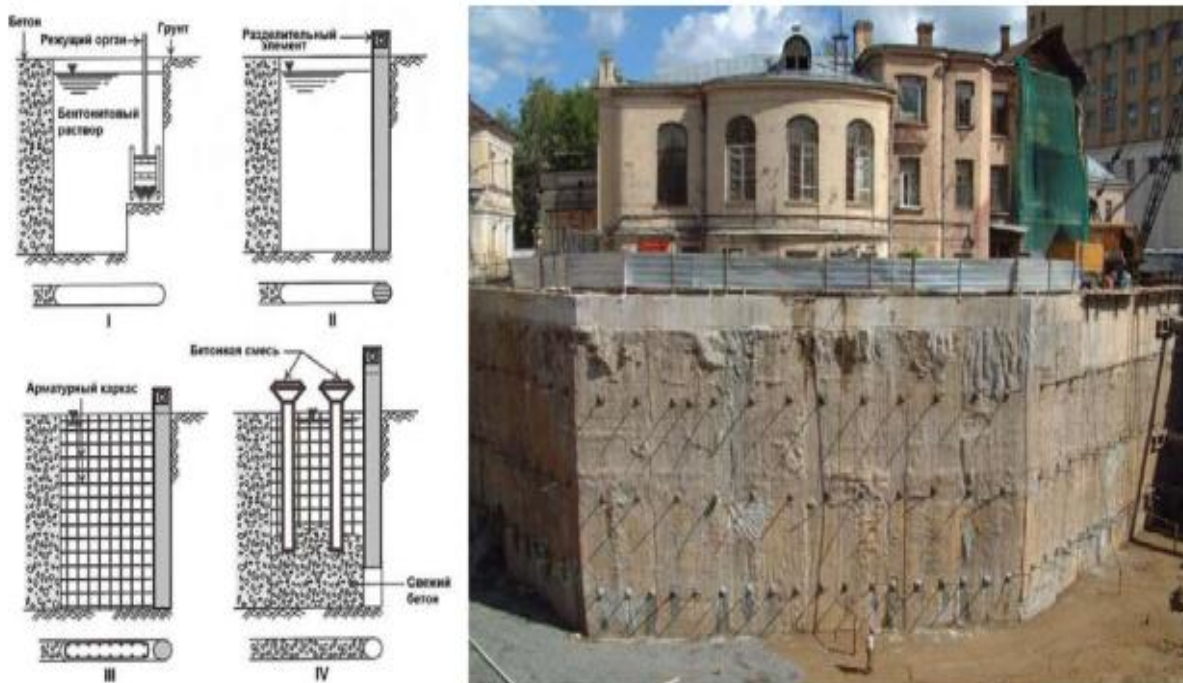


Рис. 1. Послідовність влаштування «стіни в ґрунті»

Найбільш повно поєднанню всіх цих функцій відповідають конструкції, що влаштовуються способом «Стіна в ґрунті».

Будівництво огорож котлованів і фундаментів будівель способом «стіна в ґрунті» передбачає пристрій в ґрунті за допомогою спеціального обладнання вузької траншеї необхідної глибини, стійкість стінок якої забезпечується спеціальними тиксотропними розчинами з бентонітових глин. Траншеї розробляються окремими захватками, довжина яких в плані відповідає розмірам навісного обладнання і становить зазвичай від 2,2 до 3 м.

Послідовність робіт по влаштуванню «стіни в ґрунті» показана на рис.1. В результаті, після замикання контуру в основі створюється залізобетонна стіна, яка служить надійною огорожею котловану (рис. 1).

### **Висновки**

1. В даний час чисельне моделювання широко використовується в області геотехнічних розрахунків, дозволяючи вирішувати все більш широкий спектр задач. Популярність методу скінченних елементів полягає в швидкості вирішення складних завдань і відносній простоті виконання в порівнянні з аналітичними розрахунками за методиками, викладеним в нормативних документах.
2. Для деяких завдань, альтернатива чисельного моделювання аналітичні методи розрахунку непридатні (наприклад, в силу непридатності окремих основоположних припущень) або взагалі відсутні.
3. В даній роботі розглядається методика чисельного моделювання впливу конструкцій кріплень глибоких котлованів, виконаних способом «стіна в ґрунті» на оточуючу забудову.
4. Для моделювання поставленого завдання перш за все необхідно визначитися з вихідними даними, які можна умовно розділити на три групи: інженерно-геологічні умови, параметри фундаментів існуючих будівель та споруд, параметри конструкції кріплення стін глибоких котлованів.
5. За допомогою чисельного моделювання, на основі варіантних розрахунків, можна визначити які з конструктивних і технологічних параметрів огорожі і навколишньої забудови мають найбільший вплив на величину додаткових осадок та деформацій існуючих будівель.

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ УМОВ ЗАКРІПЛЕННЯ СТРИЖНІВ ФЕРМИ НА НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ЇЇ ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ



*Павлюк Р.Л., студент*  
*Бакулін Є.А., к.т.н., доц.*

Методи будівельної механіки, що застосовуються при розрахунку стрижневих систем, дозволяють визначати зусилля в елементах, якщо відомі їх жорсткісні характеристики або, принаймні, відомі співвідношення жорсткостей. Логічно проводити дослідження на конструкції-аналогу з запозиченням прийнятих жорсткостей.

Однією з відомих, типових трубчастих стрижневих конструкцій є ферма серії «Молодечно», що застосовується при будівництві велико прогонних будівель з мостовими і підвісними кранами. З огляду на великий обсяг дослідницької роботи по даній фермі, а також наявність необхідної нормативної бази, раціонально розглянути напружено-деформований стан вузлового з'єднання на прикладі цієї ферми. Дана ферма з паралельними поясами, виконана з гнutoзварних профілів прямокутного (квадратного) перетину, має розкісну решітку без стійок з низхідним опорним розкосом і централізацією осей розкосів в вузлах. Її спирання на опорні конструкції здійснюється в рівні верхнього поясу. Ферма використовується в безпрогонному покритті, тому навантаження рівномірно розподілене по верхньому поясу ферми.

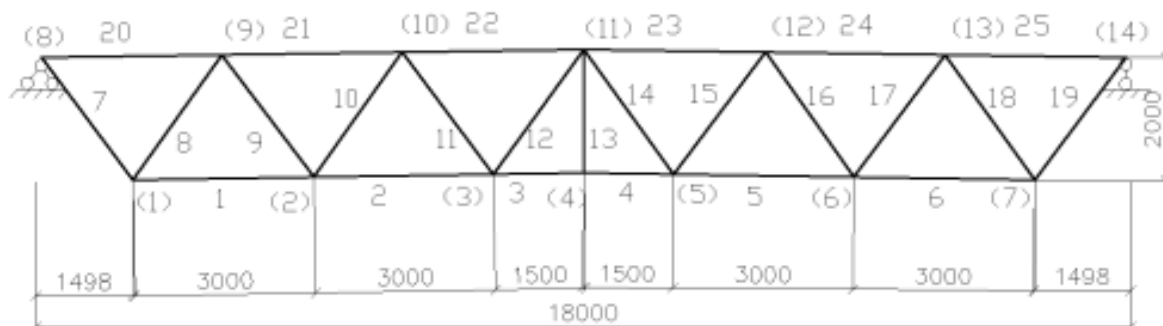


Рис. 1. Металева ферма покриття ФС-18-2,4

Для визначення розрахункових зусиль в вузловому з'єднанні було розглянуто реальну конструкцію сталеві ферми покриття ФС-18-2,4 (рис. 2) з гнutoзварних профілів прямокутного перетину (типу «Молодечно») з поперечним перерізом верхнього поясу - 180x180x4 мм, нижнього поясу - 140x140x4 мм, елементів решітки - 120x120x4 мм і 100x100x3 мм, стойки - 80x80x3 мм.

У першому варіанті з'єднання елементів у вузлах ферми приймалися жорсткими, тобто відповідними, за припущеннями ряду вчених, реальній роботі зварних вузлових з'єднань ферм. В результаті розрахунку в вузлах ферм, крім поздовжніх зусиль, визначені і згинальні моменти і поперечні зусилля.

У другому варіанті ферма розглядалася з шарнірним з'єднанням стрижнів у вузлах, коли виникають тільки поздовжні зусилля.

Для аналізу розподілу зусиль в вузловому з'єднанні детально розглянуто вирізаний з нижнього поясу ферми (рис. 2) найбільш навантажений вузол.

Аналіз зусиль і напружень в стрижнях, що утворюють вузол, для зазначених на рис. 4 варіантів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Зусилля та напруження в стержнях ферми

Елем. ферми	№ елем. ферми	Умови закріплення стержнів у вузлі ферми	Внутрішні зусилля в елементі ферми			Напруження в стержнях, МПа		
			N, кН	Q, кН	M, кН·м	$\sigma_N$	$\tau$	$\sigma_M$
Пояс	3	Шарнірне	466	0	0	21,8	0	0
	2		414	0	0	19,4		
	3	Жорстке	472	1,68	0,623	22,11	0,167	0,007
	2		420	-0,009	1,37	19,67	0,001	0,0146
Розкіс	11	Шарнірне	43,7	0	0	3,75	0	0
	12		-43,9	0	0	-3,78		
	11	Жорстке	44,3	0,486	-0,344	3,8	0,09	-0,010
	12		-42,1	-0,07	0,402	-3,6	-0,013	0,01

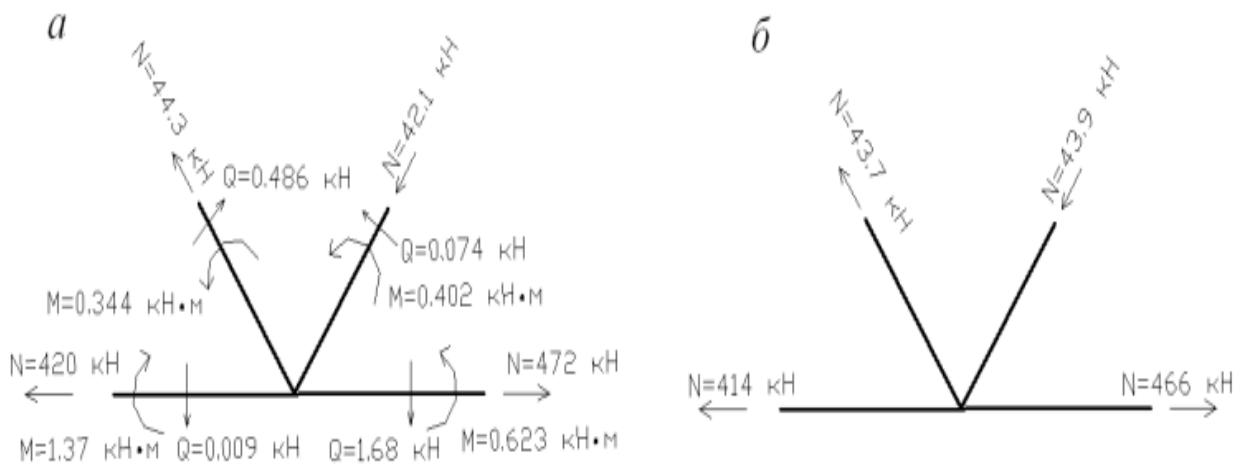


Рис. 2. Вузол, навантажений внутрішніми зусиллями, прийнятими з розрахунку типової ферми: а - при жорсткому, б - шарнірному з'єднанні стрижнів

### Висновки

1. Результати чисельного розрахунку підтвердили, що вузол в складі трубчастої ферми знаходиться під дією наступних статичних чинників: поздовжніх зусиль в елементах, що викликають основні напруження; а для жорстко закріплених вузлів - ще і згинальних моментів і поперечних сил, що викликають додаткові напруження.
2. Аналіз показав, що напруження, викликані дією поперечних сил і згинальних моментів малі, складають не більше 0,8% від напружень, відповідних поздовжнім зусиллям. Отже, в розрахунок можна приймати тільки поздовжні зусилля, отримані для ферми з жорсткими вузлами, які на 1,3 - 1,4% більше відповідних зусиль в фермі з шарнірними вузлами.
3. З огляду на надзвичайно малі значення поперечної сили і згинального моменту ними можна знехтувати і розраховувати вузлове з'єднання тільки на осьові зусилля, взяті з розрахунку ферми з жорсткими вузлами. Отже, в експериментальних дослідженнях слід створювати тільки поздовжні зусилля, отримані при розрахунку ферми з жорсткими вузлами, які трохи більше аналогічних зусиль в шарнірної схемою.

**АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
В БАЛОЧНІЙ ТА БЕЗБАЛОЧНІЙ ПЛИТІ  
ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ КРОЦІ КОЛОН 8 М**

*Шевцов В.О., студент*  
*Бакулін Є.А., к.т.н., доц.*



Залізобетонний монолітний каркас став традиційним вирішенням просторової несучої системи цивільної будівлі. Як правило, плити перекриттів в такому каркасі армують в'язаними або зварними сітками, арматурні стрижні в яких (унаслідок зручності виготовлення) розподілені за площею перекриття більш менш рівномірно.

Проте такий поширений спосіб армування плит перекриттів недостатньо економічний, оскільки підбір перерізу робочої арматури плити здійснюють по величині найбільших зусиль, що діють, як правило, в створах колон в зонах сполучення їх з плитою і в середині прольотів між колонами.

Щоб виконати таку роботу необхідно:

- виконати розрахунок напружено-деформованого стану балочної та безбалочної плит перекриття з кроком колон 8м;
- дослідити зміну зусиль та деформацій у плитах перекриття;
- обрати найбільш оптимальний та економічніший варіант.

Для розрахунку приймаємо плиту перекриття товщиною 200мм з бетону класу С20/25, що обпирається на колони перерізом 400х400мм.

На плиту діють наступні навантаження:

- постійне –  $200\text{кг/м}^2$  (власна вага враховується автоматично);
- довготривале –  $100\text{кг/м}^2$ ;
- короткочасне –  $150\text{кг/м}^2$ .

Розрахункова схема для виконання дослідження показана на рис.1.

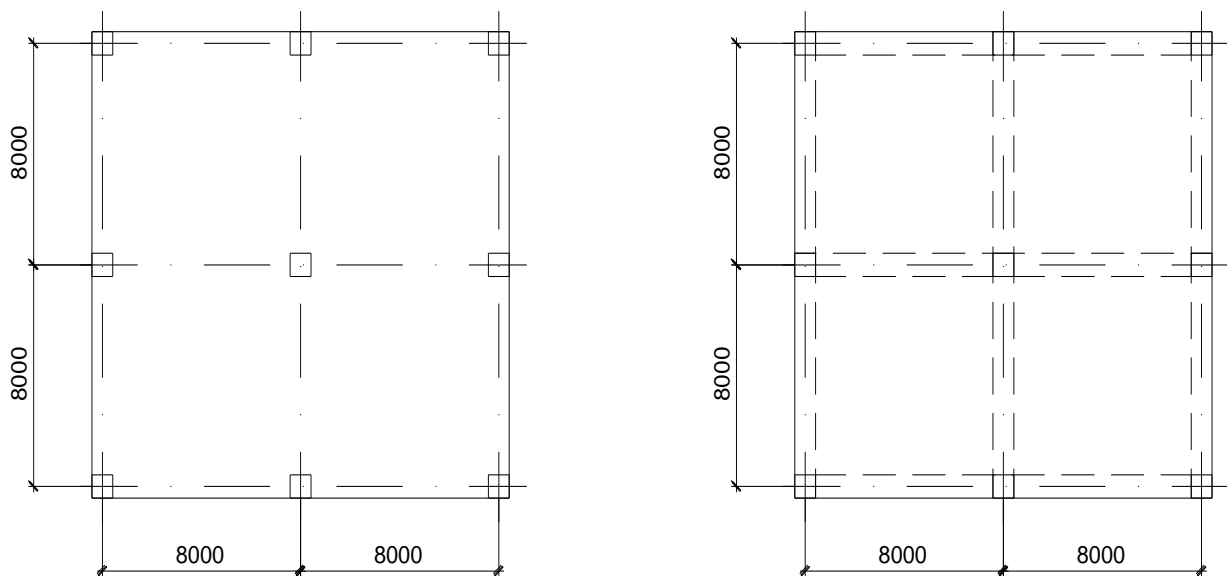


Рис. 1. Конструктивна схема безбалочної та балочної плити перекриття

Проводимо розрахунок двох варіантів плит перекриття у ПК КОМПОНОВКА (МОНОМАХ). Досліджуємо ізополі зусиль  $M_x$  та переміщення  $U_z$  у безбалочній та балочній плиті перекриття.

За результатами розрахунку балочної та безбалочної плит перекриття були отримані значення зусиль в кінцевих елементах плити, які відображаємо на графіках рис. 2 – 4.

Так, на порівняльних діаграмах зусиль  $M_x$  в КЕ у зоні колон та у прольоті між колонами по осі  $X$  відкладаємо значення зусиль  $M_{x1}$  у балочному перекритті, по осі  $Y$  –  $M_{x2}$  у безбалочному.

В результаті будуємо графік, де крапками позначаються значення зусиль у відповідних КЕ двох варіантів плит, а лінією – лінія тренду, що показує зміну зусиль.

Над лінією тренду показана залежність між величинами  $M_{x1}$  та  $M_{x2}$ .

Аналогічним чином будується графік залежності переміщення  $U_{z2}$  безбалочної від переміщення  $U_{z1}$  балочної плити перекриття.

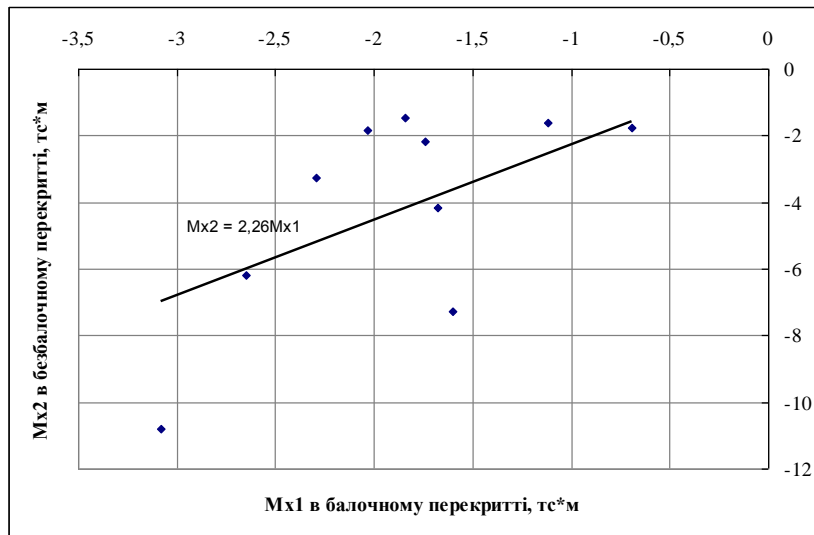


Рис. 2. Порівняльна діаграма зусиль  $M_x$  в СЕ у зоні колон

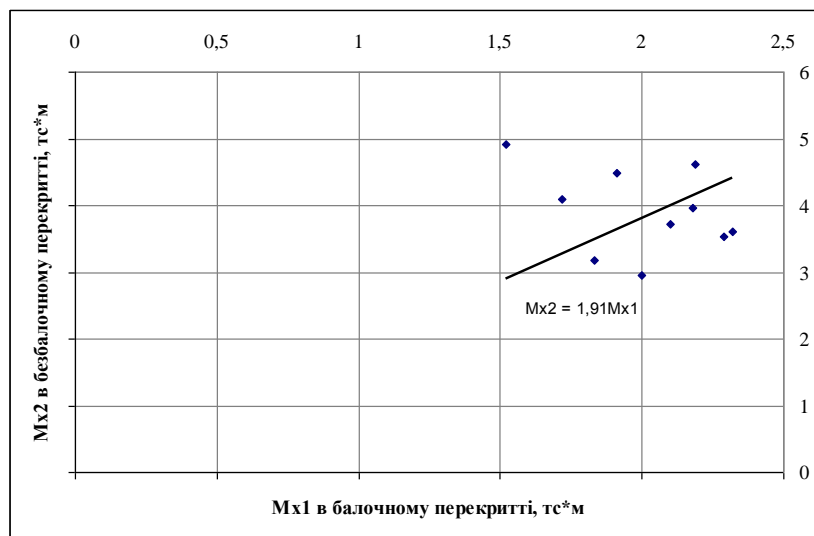


Рис. 3. Порівняльна діаграма зусиль  $M_x$  в СЕ у прольоті між колонами

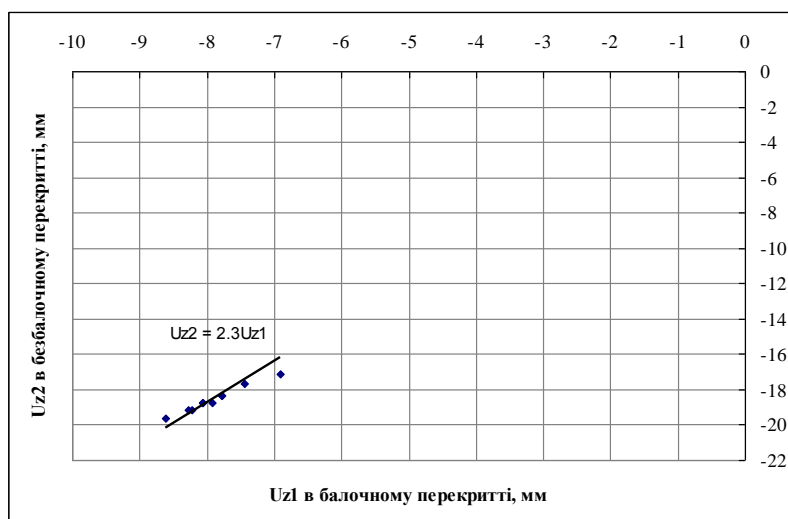


Рис. 4. Порівняльна діаграма переміщення  $U_z$  плити перекриття у прольоті



## Висновки

1. моментні зусилля  $M_x$  у зоні колон безбалочної плити перекриття у 2,26 рази більші від відповідних зусиль  $M_x$  балочної плити;
2. моментні зусилля  $M_x$  у прольоті між колонами безбалочної плити перекриття у 1,91 рази більші від відповідних зусиль  $M_x$  балочної плити;
3. переміщення  $U_z$  у прольоті між колонами безбалочної плити перекриття у 2,3 рази більші від аналогічного переміщення балочної плити;
4. з вищенаведеного стає очевидним, що зусилля та деформації плити перекриття з балками суттєво менші, а напружено-деформований стан кращий. З цього слідує, що армування балочної плити потребує менші затрати матеріалів, ніж безбалочної плити перекриття.

УДК 624

### ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ КУПОЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Біловицький І.Д., студент*

*Бакулін Є.А., к.т.н., доц.*



В даний час в Україні та зарубіжних країнах накопичено чималий досвід по застосуванню і проектуванню площинних і просторових конструкцій з використанням в них попереднього напруження.

Напруження будівельних конструкцій - це одне з швидко розвинених напрямків технічного прогресу, яке може забезпечити більш високий технічний рівень будівельних конструкцій.

Попередньо напружені металеві конструкції - це такі конструкції, в яких при їх виготовленні, монтажі або експлуатації створюються, в найбільш напружених перетинах, власні напруги, які є протилежними за знаком напруженням від діючого навантаження.

Попереднє напруження застосовують з метою знизити витрату металу, що в свою чергу знижує вартість металевих конструкцій. В деяких випадках

попереднє напруження дозволяє здійснювати регулювання деформацій, підвищити жорсткість і стійкість металевих конструкцій та споруд в цілому. До попередньо напружених відносяться такі металеві конструкції, в яких штучним шляхом в процесі виготовлення або монтажу (під час підсилення існуючих конструкцій під навантаженням) створюється власне (початкове) напруження, яке протилежне по знаку напруженню від розрахункового навантаження.

На сьогоднішній день існують перевірені практикою три напрями в розвитку металевих попередньо напружених гратчастих конструкціях: перший конструкції, що напружуються за допомогою окремих високоміцних сталевих стержнів зтяжок; другий конструкції, виконані повністю із сталевих канатів (сюди відносяться і комбіновані вантові конструкції з балками жорсткості), і третій конструкції без використання високоміцної сталі, напруження яких досягається різними прийомами (підтяжкою консолей, регулюванням рівня опор напруженням обшивки тощо).

Для купольних конструкцій найбільш актуальним є спосіб виконання попереднього напруження за допомогою високоміцних зтяжок. У ребристих, ребристо-кільцевих куполах зтяжки сполучають опорні частини арок куполу, що дозволяє передати значну частину розпору на зтяжки і тим самим істотно полегшити опорне кільце куполу. Для включення зтяжок в роботу виконується їх попереднє натягування з упором на опорний вузол ребра (опорне кільце). Можливе подальше попереднє натягування зтяжок з метою створення розвантажувального напруженого стану в ребрах по відношенню до експлуатаційного навантаження. Доцільне зусилля попереднього напруження визначається статичним розрахунком арки з зтяжкою.

Застосування високоміцних зтяжок з метою створення попереднього напруження також можливе у сітчастих куполах.

Особливості статичного розрахунку конструкції попередньо напруженого сітчастого куполу полягають в моделюванні попереднього напруження і визначенні раціонального його значення.

В дослідженнях порівнюємо розрахунки куполу з попереднім напруженням та без попереднього напруження в програмному комплексі «ЛІРА САПР»

Варіант 1. Купол без попереднього напруження

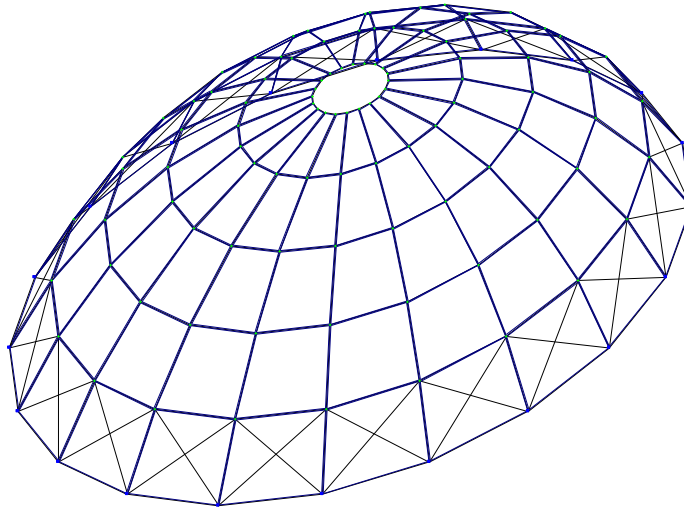


Рис. 1. Скінченно-елементна схема металевого куполу

### Варіант 2. Металевий купол з попереднім напруженням.

Попереднє напруження моделювалося скінченними елементами 208 (фізично нелінійний спеціальний двох вузловий скінченний елемент для моделювання попереднього натягування). До даного скінченного елемента прикладаємо спеціальне навантаження (форкоп), яке моделює силу натяжіння.

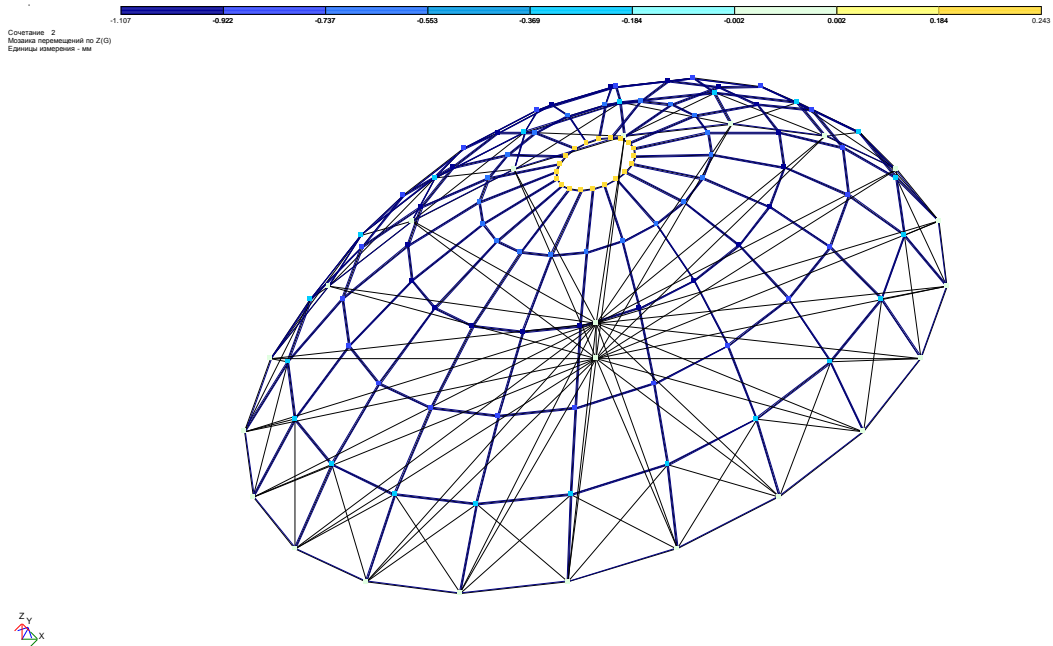


Рис. 2. Переміщення по z у вузлах куполу від постійного навантаження

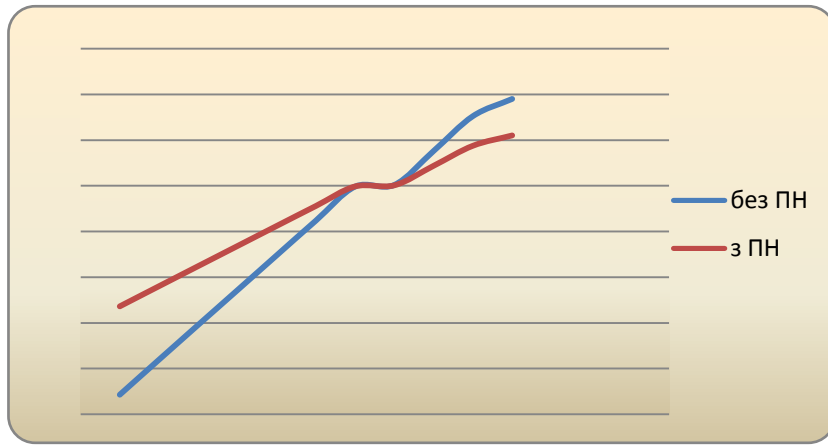


Рис. 3. Зусилля  $M_u$ , т·м в несучих елементах куполу:  
 1 – без попереднього напруження; 2 – з попереднім напруженням

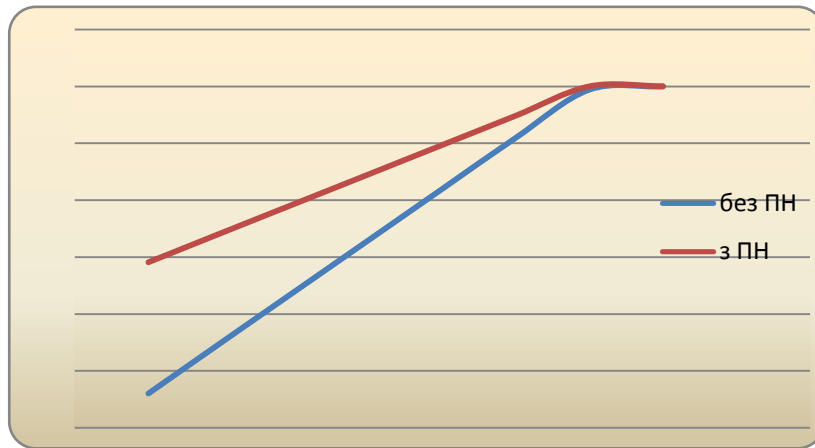


Рис. 4. Зусилля  $N$ , т в несучих елементах куполу:  
 1 – без попереднього напруження; 2 – з попереднім напруженням

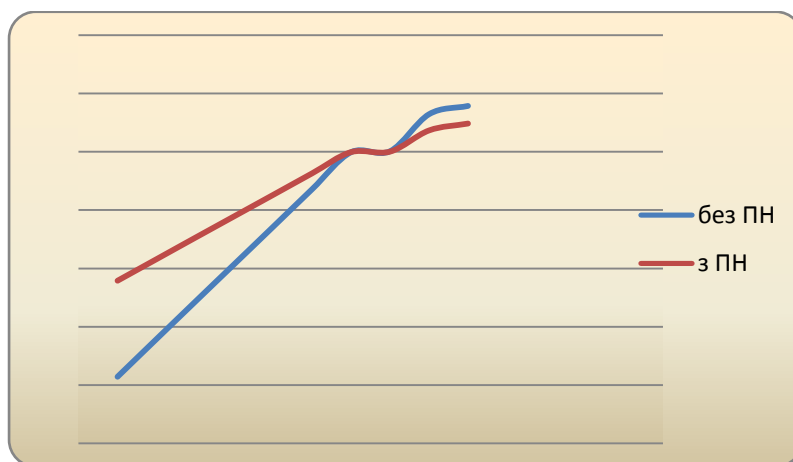


Рис. 5. Переміщення  $z$ , мм в несучих елементах куполу:  
 1 – без попереднього напруження; 2 – з попереднім напруженням

## Висновки

Таким чином як видно з порівняльного аналізу напружено-деформованого стану металевих куполу покриття з попереднім напруженням та без попереднього напруження, різниця між зусиллями  $M_u$  з попереднім напруженням та без попереднього напруження становить 58%, між зусиллями  $N$  з попереднім напруженням та без попереднього напруження – 57,3%, між переміщеннями по  $z$  з попереднім напруженням та без попереднього напруження – 57,4%. Що в свою чергу призводить до значної економії на витрати металу і собівартість металевих конструкцій. Також попереднє напруження дозволяє регулювати напружено-деформований стан металевих конструкцій куполу покриття, що дає змогу підвищити жорсткість і стійкість металевих конструкцій куполу, зменшити розпір арок-ребер куполу, та знизити навантаження на опорне кільце куполу.

УДК 624

### **СПІВВІДНОШЕННЯ ЗУСИЛЬ ЩО ВИНИКАЮТЬ У ЯДРІ ЖОРСТКОСТІ БУДІВЛІ ПРИ РОЗРАХУНКАХ В ПК «ЛИРА» ТА ПК «МОНОМАХ»**

*Мінич С.М., студент*

*Костира Н.О., к.т.н., доц.*



Метою наукового дослідження є співвідношення зусиль, які виникають у ядрі жорсткості будівлі, що розраховується у ПК Ліра та ПК Мономах та порівняння їх. З цією метою був виконаний розрахунок будівлі у двох програмних комплексах і для аналізу прийнято ядро жорсткості. Візуально видно, що найбільші похибки виникають на останньому поверсі, тому для порівняння зусиль у ядрі приймемо кінцеві елементи верхнього поверху.

Після проведеного розрахунку і отримання результатів можна зробити порівняльну характеристику зусиль в ядрі жорсткості для двох розрахункових кодів. Для цього для кожної розрахункової схеми виберемо по декілька кінцевих елементів, для яких буде виконуватись порівняння, у даному випадку

по 24 елемента, що розміщуються в центрі кожної з чотирьох стін і охоплюють висоту поверху. Порівняння виконується для  $M_x$ ,  $Q_x$ , і показане в табл.1-3.

Таблиця 1 – Порівняння напружень

№ КЕ Ліра (Мономах)	Ліра, т/м <sup>2</sup>	Мономах, т/м <sup>2</sup>	Похибка, %
60128 (44466)	1.3	1.7	23.5
60131 (44469)	9.9	10.1	2.0
60135 (44473)	2.1	2.2	4.5
60140 (44478)	-13.9	-13.9	0.0
60145 (44483)	-18.3	-18.2	-0.5
60149 (44487)	-6.1	-5.9	-3.4
60091 (44429)	0.22	-0.4	155.0
60093 (44431)	2.6	2.7	3.7
60097 (44435)	1.9	2.1	9.5
60102 (44440)	-0.4	-0.4	0.0
60108 (44446)	-1.2	-1.2	0.0
60113 (44451)	-0.7	-0.7	0.0
60666 (45004)	-3.7	-3.8	2.6
60671 (45009)	-2.9	-2.9	0.0
60676 (45014)	-2.8	-2.8	0.0
60681 (45019)	-2.9	-2.9	0.0
60686 (45024)	-2.4	-2.4	0.0
60691 (45029)	-0.9	-0.96	6.2
60736 (45074)	-0.11	-0.2	45.0
60741 (45079)	-0.07	-0.2	65.0
60746 (45084)	-0.7	-0.8	12.5
60751 (45089)	-2.2	-2.2	0.0
60756 (45094)	-4.4	-4.5	2.2
60760 (45098)	-7.4	-7.38	-0.3
Середня похибка			<b>7.36</b>

Таблиця 2 – Порівняння зусиль  $M_x$ 

№ КЕ Ліра (Мономах)	Ліра, т/м <sup>2</sup>	Мономах, т/м <sup>2</sup>	Похибка, %
60128 (44466)	-0.54	-0.54	0.0
60131 (44469)	-0.43	-0.43	0.0
60135 (44473)	-0.17	-0.17	0.0
60140 (44478)	0.15	0.15	0.0
60145 (44483)	0.4	0.4	0.0
60149 (44487)	0.5	0.52	3.8
60091 (44429)	0	0	0.0
60093 (44431)	0.01	0.01	0.0
60097 (44435)	0.02	0.02	0.0
60102 (44440)	0.02	0.03	33.3
60108 (44446)	0.03	0.04	25.0
60113 (44451)	0.05	0.05	0.0
60666 (45004)	0.05	0.05	0.0
60671 (45009)	0.02	0.02	0.0
60676 (45014)	-0.01	-0.01	0.0
60681 (45019)	-0.04	-0.04	0.0
60686 (45024)	-0.07	-0.07	0.0
60691 (45029)	-0.09	-0.08	-12.5
60736 (45074)	0.22	0.22	0.0
60741 (45079)	0.16	0.17	5.9
60746 (45084)	0.09	0.09	0.0
60751 (45089)	0.02	0.01	-100.0
60756 (45094)	-0.07	-0.06	-16.7
60760 (45098)	-0.14	-0.14	0.0
Середня похибка			<b>4.61</b>

Таблиця 3 – Порівняння зусиль  $Q_x$ 

№ КЕ Ліра (Мономах)	Ліра, т/м <sup>2</sup>	Мономах, т/м <sup>2</sup>	Похибка, %
60128 (44466)	-0.07	-0.07	0.0
60131 (44469)	0.22	0.22	0.0
60135 (44473)	0.09	0.09	0.0
60140 (44478)	-0.13	-0.13	0.0
60145 (44483)	-0.22	-0.22	0.0
60149 (44487)	-0.14	-0.15	6.7
60091 (44429)	0	0	0.0
60093 (44431)	0.05	0.06	16.7
60097 (44435)	0.05	0.05	0.0
60102 (44440)	0.03	0.03	0.0
60108 (44446)	0.06	0.06	0.0
60113 (44451)	0.18	0.18	0.0
60666 (45004)	-0.04	-0.05	20.0
60671 (45009)	-0.04	-0.04	0.0
60676 (45014)	-0.02	-0.03	33.3
60681 (45019)	-0.02	-0.02	0.0
60686 (45024)	-0.01	-0.01	0.0
60691 (45029)	0	0	0.0
60736 (45074)	-0.03	-0.04	25.0
60741 (45079)	-0.06	-0.06	0.0
60746 (45084)	0	0	0.0
60751 (45089)	-0.03	-0.03	0.0
60756 (45094)	-0.05	-0.04	-25.0
60760 (45098)	-0.07	-0.07	0.0
Середня похибка			<b>2.31</b>

### Висновки

Виконавши порівняння зусиль у ядрі жорсткості для розрахунку будівлі в ПК Мономах та ПК Ліра, можна побачити, що похибка розрахунку є незначною від 2,31 до 7,36 %. Це свідчить про те, що розрахунок виконаний вірно. А



похибка виникає, наприклад, із-за невірною порядку нумерації елементів, що може вплинути на кінцевий результат розрахунку.

Вибір розрахункового коду Ліра чи Мономах залежить від конструкції будівлі. Наприклад, недоліком Мономаху є те, що у цьому ПК не можна розраховувати будівлі з нахиленими поверхнями або будівлі з металевим каркасом. Якщо ж проектувати монолітну будівлі, то для задання розрахункової схеми і зручності зчитування результатів розрахунку більше підходить ПК Мономах. Таким чином, щоб правильно вибрати програмне середовище, в якому доцільно вести розрахунок, потрібно детально проаналізувати розрахунково-конструктивну схему будівлі.

**УДК 624.045.12**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРУ І ФОРМИ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СІТКИ НА ПАРАМЕТРИ НДС ПЕРЕРІЗІВ ПЛАСТИНЧАСТИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Лосінець Ю.Р., студент*

*Дмитренко Є.А., к.т.н., ст. викладач*

Побудова скінченно-елементних сіток є важливим етапом рішення задачі по визначенню НДС конструкцій. Цей етап пов'язаний із виконанням ряду суперечливих вимог.

З одного боку досить густа сітка дозволяє досягти необхідної точності рішення задачі. З іншого боку, надмірно густа сітка збільшує час виконання задачі і може призводити до поганої обумовленості матриці канонічних рівнянь МСЕ, а, отже, і до великих погрешностей при факторизації цієї матриці.

Важливим фактором є форма скінченних елементів. Так, чотирикутні скінченні елементи є більш точними у порівнянні з трикутними. Рівносторонні скінченні елементи є більш доцільними у порівнянні з елементами, які мають яскраво виражену нерівномірність сторін. Останні погіршують обумовленість матриці канонічних рівнянь МСЕ, тому при триангуляції слід віддавати перевагу рівностороннім SE.

Ці ефекти дуже добре ілюструються при роботі на згин квадратної у плані плити із розмірами 2х2м. Сітка скінченних елементів має вигляд (рис. 1), навантаження прикладається у двох варіантах:

- зосередженою силою, прикладеної у центрі плити;
- рівномірно-розподіленим навантаженням по площині плити.

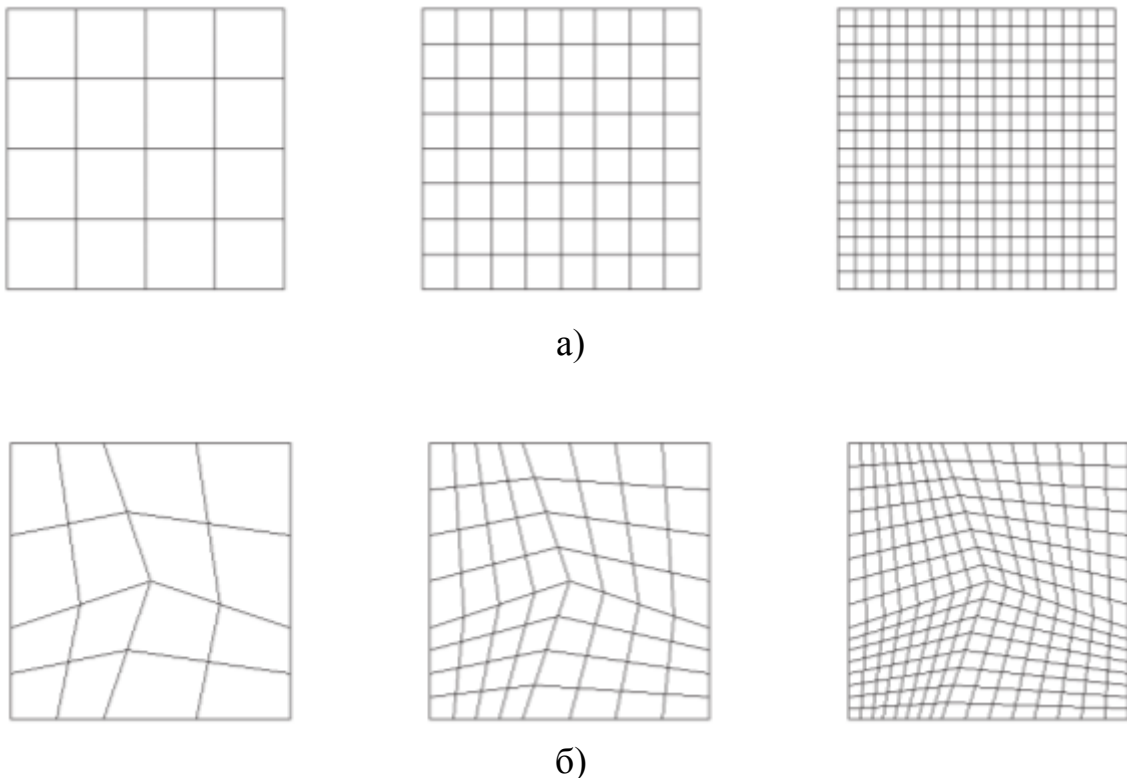


Рис. 1. Варіанти триангуляції сітки плити:

а) регулярна сітка 4x4, 8x8, 16x16;

б) нерегулярна сітка 4x4, 8x8, 16x16

Геометричні та механічні характеристики плити – товщина плити  $t = 0.01$  м, модуль пружності  $E = 1,7472 \cdot 10^7$  кПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,3$

Навантаження – зосереджене навантаження  $P = 4 \cdot 10^{-4}$  кН, розподілене навантаження по площині  $q = 1 \cdot 10^{-4}$  кН/м<sup>2</sup>.

Граничні умови – шарнирне обпирання по контуру.

Аналітичне рішення при цьому було взяте із роботи [1], яке було прийняте за еталонне.

Рішення задачі було виконано у середовищі ПК ЛІРА-САПР 2017 [2],[3] скінченні елементи, які були використані при цьому СЕ 11 – прямокутний СЕ плити, СЕ19 – чотирикутний СЕ плити, ознака схеми – 3, площина ХОУ.

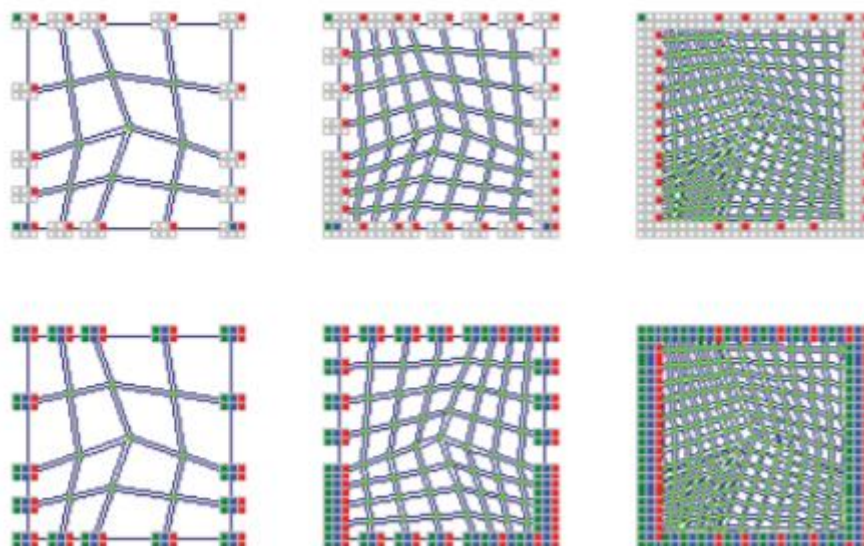


Рис. 2. Розрахункова схема у ПК «ЛІРА-САПР» 2017

Порівняння результатів розрахунку виконувалось для вертикального переміщення у центрі плити. Результати порівняння зведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1 – Результати порівняння при розрахунку плити на зосереджене навантаження

	Регулярна сітка			Нерегулярна сітка		
	4x4	8x8	16x16	4x4	8x8	16x16
$w \cdot 10^6 (м)$	12,271	11,813	11,664	10,679	11,295	11,512
$w/w_{\text{еталон}}$	1,058	1,018	1,006	0,921	0,974	0,992
$w_{\text{еталон}} \cdot 10^6 (м)$	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60

Таблиця 2 – Результати порівняння при розрахунку плити на рівномірно-розподілене навантаження

	Регулярна сітка			Нерегулярна сітка		
	4x4	8x8	16x16	4x4	8x8	16x16
$w \cdot 10^6 (м)$	4,325	4,128	4,078	3,879	3,998	4,045
$w/w_{\text{еталон}}$	1,065	1,016	1,004	0,955	0,984	0,996
$w_{\text{еталон}} \cdot 10^6 (м)$	4,062	4,062	4,062	4,062	4,062	4,062

### Висновки

Таким чином, ефект впливу розмірів і форми скінченних елементів на результати розрахунків є достатньо істотним, і має бути врахованим при

моделюванні конструкцій будівель і споруд методом скінченних елементів у ПК «ЛІРА-САПР» і подібних сучасних програмах.

### Список використаних джерел

1. K. Mallikarjuna, U. Shrinivasa A set of pathological tests to validate new finite elements. Sadhana, Vol. 26, Part 6, dezember 2001, P.549-589.
2. Справочное пособие по строительной механике : учебное пособие / [Верюжский Ю.В., Гольшев А. Б., Колчунов В.И. и др.]. – М. : АСВ, 2014. – Т. II. – 432 с.
3. А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий, М.В. Лазнюк, С.В. Юсипенко. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2004. –106 с.
4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. – М, 2007. – 595 с.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 538 с.

УДК 624.045.12

## ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ МОНОЛІТНОЇ БАГАТОПРОЛІТНОЇ БАЛКИ

*Кушнір Є.В., студент*  
*Бойко А.В., д.т.н., проф.*



Залізобетонні балки являють собою конструктивні елементи будівель і споруд, що працюють на згин, довжина (проліт) яких не менше ніж утричі перевищує загальну висоту поперечного перерізу.

Статичний розрахунок балок полягає у визначенні зусиль (згинальних моментів та поперечних сил), які виникають в їхніх перерізах від дії зовнішнього навантаження. Розрахункова схема визначає характер спирання балок на опори, вид опор, величини розрахункових прольотів та характер і значення зовнішніх навантажень.

Нерозрізною балкою є балка, яка перекидає два і більше прольотів, спирається на свої опори і ніде не перетинається шарнірами чи розрізами.

Характерною особливістю нерозрізної балки порівняно з однопрогонною є те, що навантаження, яке діє в будь-якому прольоті, згинає балку вздовж всіх її прольотів, створюючи плавну пружну лінію. Розрахункова схема нерозрізної балки передбачає, як правило, ідеальне шарнірне кріплення до всіх опор (рис. 1, а). На крайніх опорах допускається абсолютне або пружно-податливе закріплення балок.

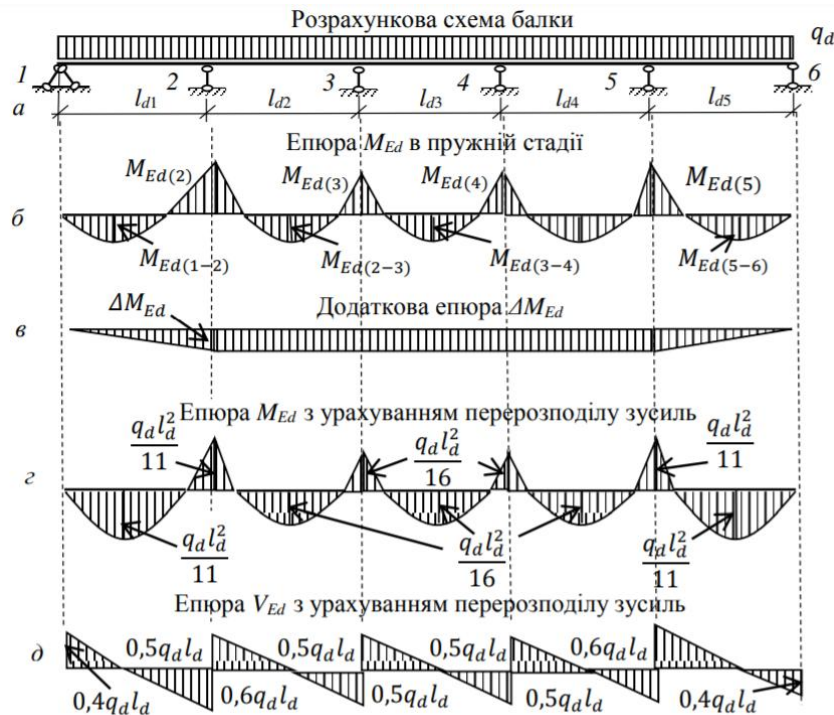


Рис. 1. Розрахункова схема багатопролітної балки та епюри згинальних моментів і поперечних сил

Багатопролітні нерозрізні балки є статично невизначеними конструкціями. Для забезпечення нерухомості балки в своїй площині, як відомо, потрібно три опорних стержні, а тому кількість зайвих в'язей (опорних стержнів) нерозрізної балки менше загальної кількості її опорних стержнів на три одиниці. Ступінь статичної невизначеності балок дорівнює кількості зайвих в'язей, а за невідомі приймаються згинальні моменти, які діють в опорних перерізах.

Як свідчать експериментальні дослідження, в реальних умовах дійсні значення моментів в статично невизначених залізобетонних балках відрізняються від знайдених за пружної стадії їхньої роботи. Таке відхилення називають перерозподілом зусиль внаслідок утворення в розтягнутих зонах бетону тріщин та виникнення пластичних деформацій в матеріалах. З огляду на це, норми проектування залізобетонних конструкцій рекомендують визначати зусилля в

статично невизначених конструкціях з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності роботи, тобто, з урахуванням перерозподілу зусиль.

Значення додаткового згинального моменту в нормативних документах не обумовлюється, а це вимагає обов'язкового розрахунку балок за граничними станами другої групи. Практично обмеження розкриття тріщин в перших пластичних шарнірах досягається обмеженням вирівнювального моменту з тим, щоб отриманні значення моментів з урахуванням перерозподілу зусиль склали не менше 70% від значень, отримані шляхом розрахунку балки як пружної системи.

Для розрахунку несучої монолітної багатопроектної балки були використані програмний комплекс «МОНОМАХ-БАЛКА», «Beam» та програма «Однопролетная балка 5.01».

Програмний комплекс «МОНОМАХ-БАЛКА» використовує метод розрахунку оснований на методі скінченних елементів, програма «Beam» - складанні та вирішенні диференціального рівняння зігнутої осі балки.

В першому випадку розрахунок багатопроектної балки виконаний в «МОНОМАХ-БАЛКА», були визначені зусилля від постійних та тимчасових навантажень, підібрана арматура, отримані схематичні креслення, специфікації, відомості витрат сталі. В другому випадку зусилля визначені в програмі «Beam», потім реакції опор і навантаження перенесені в програму «Однопролетная балка 5.01» опори замінені реакціями, отримані зусилля, підібрана арматура.

Метод скінченних елементів (МСЕ) - це потужний метод, розроблений для чисельного розв'язування складних проблем у механіці конструкцій та інших математичних задач. Наразі широко застосовується для розв'язування складних систем. У МСЕ, структурна модель записується набором відповідних скінченних елементів, взаємопов'язаних у дискретних точках, вузлах. Між цими елементами встановлюється взаємозв'язок. Елементи можуть мати фізичні властивості, такі як товщина, коефіцієнт теплового розширення, щільність, модуль Юнга, модуль зсуву і коефіцієнт Пуассона.

Більшість чисельних методів дозволяють здобути наближений розв'язок задачі з певною заданою похибкою.

Диференційне рівняння зігнутої осі балки. Розглянемо деформацію балки при плоскому згинанні. Вісь балки під дією навантаження в одній з головних площин інерції викривлюється в тій самій площині, а поперечні перерізи повертаються і одночасно дістають поступальне переміщення в напрямку осі  $u$ .

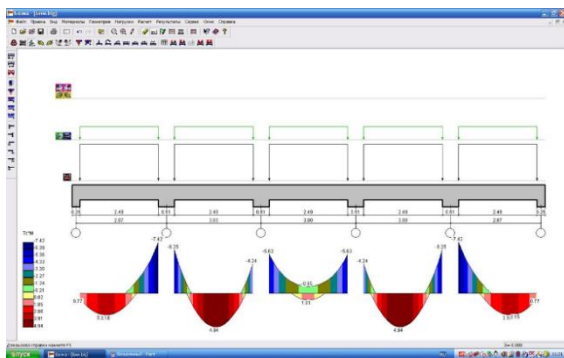


Викривлену вісь балки називають зігнутою віссю, або пружною лінією, а переміщення точок осі балки в напрямку, перпендикулярному до недеформованої осі балки, називають прогинами балки (прогинами осі балки або прогинами перерізів балки) й позначаються літерою  $u$ .

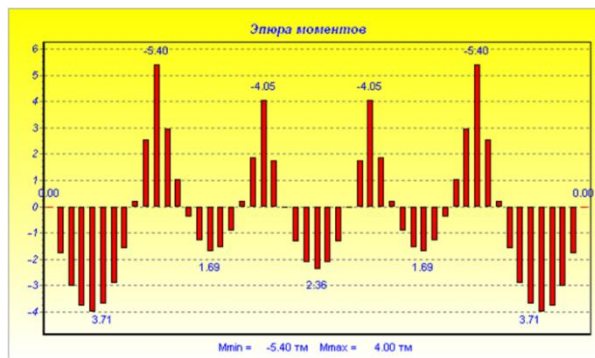
### Висновки

Якісно обидва підрахунки звелись до однакових результатів, за винятком другої та четвертої опори, в якій верхня (робоча) арматура, при другому методі програма запропонувала  $2\emptyset 16$  (Мономах -  $2\emptyset 14$ ). Але в той же час є кількісна відмінність результатів розрахунків. Так, в першому варіанті розрахунку за епурою вигибаючих моментів найбільш небезпечними є 2 та 4 прольоти з максимальним значенням  $M_{\max} 4.94 \text{ Тс}\cdot\text{м}$ , а в другому варіанті 1 та 5 проліт з максимальним значенням  $M_{\max} 3.71 \text{ Тс}\cdot\text{м}$ .

1 метод розрахунку



2 метод розрахунку



В якості еталонного слід вважати метод диференційних рівнянь, оскільки він ґрунтується на аналітичних методах розв'язання задач, тоді як метод скінченних елементів ґрунтується на чисельних методах, що в свою чергу веде до втрати точності результатів.

Якщо порівнювати інтерфейси використовуваних програм, то в цілому вони всі зрозумілі та легкі в використанні. Але програмний комплекс «Мономах-Балка» має ряд суттєвих переваг, а саме: наявність великої вбудованої бази каталогів та специфікацій конструкцій; наявність великої нормативної бази, можливість використання єврокоду; програма дозволяє на основі розрахунку та конструювання отримати схематичні креслення та специфікації деталей і матеріалів, а також відомості витрат сталі.

### Список використаних джерел

1. Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. За ред. Писаренка Г.С. — К. : Вища школа, 1993. — 655 с. — ISBN 5-11-004-083-4.

2. Вступ до числових методів: Навч. посіб. для вищ. закл. освіти / П.І. Каленюк, В.А. Бакалець, І. І. Бакалець, Н. В. Горбачова, П. Л. Сохан; Держ. ун-т «Львів. політехніка». — Л., 2000. — 145 с. — (Математика для інженерів). — Бібліогр.: 20 назв.

УДК 624.045

## ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЙ

*Потапенко О.О., студент*

*Бойко А.В., д.т.н., проф.*

Цукрові буряки є основною сировиною для виробництва цукру в Україні. Цьому сприяють кліматичні умови зони помірного клімату та багаті чорноземи. За хімічним складом соковитий коренеплід цукрових буряків складається із 75 % води і 25 % сухих речовин.

Теорія зберігання цукрових буряків ґрунтується на особливостях їх хімічного складу і біохімічних процесах, що відбуваються в коренеплодах після збирання. Протягом зберігання в них продовжуються життєві процеси. З'ясування особливостей біохімічних, фізіологічних і мікробіологічних процесів в коренеплодах, визначення факторів, що зумовлюють їх спрямованість і швидкість є важливим завданням під час створення оптимальних умов зберігання цукрових буряків. Свіжозібраний буряк дихає у два–три рази інтенсивніше. Стабільність процесу дихання настає через два–три тижні. При підвищенні температури буряків на 10°C, інтенсивність підвищується у 2–3,5 рази, втрати цукру відповідно збільшуються в 2,5–3 рази. Середньодобові витрати цукру внаслідок дихання значні. При температурі зберігання близько 10°C вони дорівнюють 0,012 %. За період зберігання втрачається 1,8 % цукру від маси буряків, або 0 % усього цукру, який міститься в коренеплодах. Із зниженням температури зберігання до 0°C втрати цукру зменшуються в три рази. Враховуючи всі фактори зберігання та переробки цукрового буряку важливо правильно та економічно вигідно підібрати огорожувальні конструкції.



При теплотехнічному розрахунку було враховано:

- місце будівництва – місто Яготин;
- середня температура повітря періоду з середньою добовою температурою повітря не менше + 8 оС  $t_{ht} = - 4,1$  оС
- тривалість періоду з середньою добовою температурою повітря не менше + 8 оС  $z_{ht} = 231$  добу
- середній температурі найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92  $t_{ext} = - 32$  °С згідно
- розрахункова середня температура внутрішнього повітря  $t_{int} = +18$  оС
- відносна вологість повітря 60%
- вологісний режим приміщення-нормальний
- воложностная зона нормальна
- умови експлуатації «Б»

Стіни виробничого корпусу - тришарові стінові панелі «Венталл-С3» з утеплювачем з мінеральної вати щільністю 110 кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,049$  Вт/м<sup>2</sup>\*°С.

Покриття виробничого корпусу:

- варіант 1 - з залізобетонним ребристим плит з утеплювачем із мінераловатних плит змінної щільності РУФ БАТС Оптима 115-200 кг/м<sup>3</sup> (середня - 135 кг/м<sup>3</sup>),
- варіант 2 - профільований лист по прогонах з утеплювачем із мінераловатних плит змінної щільності РУФ БАТС Оптима 115-200 кг/м<sup>3</sup> (середня - 135 кг/м<sup>3</sup>).

Стіни виробничо-побутового корпусу - двошарове стінове огороження з несучими шаром з цегли і утеплювачем із мінераловатних плит ROCKWOL ФАСАД БАТС щільно-стю 145 кг/м<sup>3</sup>.

Покриття виробничо-побутового корпусу по залізобетонним круглопустотним плит з утеплювачем із мінераловатних плит змінної щільності РУФ БАТС Оптима 115-200 кг/м<sup>3</sup> (середня - 135 кг/м<sup>3</sup>).

Конструкції огорож представлені на рисунку.

### 1.3 Визначення товщини огорожувальних конструкцій виробничого корпусу

Градусо-добу опалювального періоду:

$$Dd = (t_{int} - t_{ht}) * z_{ht},$$

$$Dd = (18 + 4,1) * 231 = 5105,1 \text{ °С*сут.}$$

Нормоване значення опору теплопередачі:

$$R_{reg} = a * Dd + b,$$

де a, b - коефіцієнти прийняті для стін рівними: a = 0,0002, b = 1, для вікон: a = 0,000025, b = 0,2.

$$R_{\text{регстен}} = 0,0002 * 5105,1 + 1 = 2,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_{\text{регокон}} = 0,000025 * 5105,1 + 0,2 = 0,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Товщину огорожувальних конструкцій підбираємо з умови:

$$R_{\text{рег}} < R_0,$$

де  $R_0$  - опір теплопередачі огорожувальних конструкцій для стінових панелей виробничого корпусу певне з технічного каталогу панелей «Венталл».

Попередньо приймаємо:

- стіна - стінова тришарова панель «Венталл-С3» з утеплювачем з мінеральної вати щільністю 110 кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,049 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$ , товщиною 100 мм,  $R_0 = 2,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

Перевіримо виконання вимоги обмеження температури і конденсації вологи на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції - розрахунковий температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції  $\Delta t_o$ , °C не повинен перевищувати нормованої величини  $\Delta t_n$ , °C:

$$\Delta t_o \leq \Delta t_n,$$

де  $\Delta t_{\text{нстен}} = 7 \text{ °C}$ ,

$$\Delta t_o = n * (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) / (R_o * \alpha_{\text{int}}),$$

де  $n$  - коефіцієнт, що враховує залежність положення зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій по відношенню до зовнішнього повітря, для зовнішніх стін  $n = 1$ .

$$\Delta t_{\text{остстен}} = 1 * (18 + 32) / (2,22 * 8,7) = 2,6 \text{ °C} < \Delta t_{\text{нстен}} = 7 \text{ °C}.$$

Так як  $\Delta t_o < \Delta t_n$ , то значить прийнята конструкція стін задовольняє вимогу обмеження температури і конденсації вологи на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції.

Розрахунок покриттів проведемо у програмі «ТеРеМОК».

Визначимо нормоване значення опору теплопередачі для вікон виробничо-побутового корпусу:

$$R_{\text{рег}} = a * D_d + b,$$

де  $a, b$  - коефіцієнти прийняті для вікон:  $a = 0,00005$ ,  $b = 0,2$ .

$$R_{\text{регокон}} = 0,00005 * 5105,1 + 0,2 = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Розрахунок стінового огороження та покриття проведемо у програмі «ТеРеМОК».

### Висновок

Остаточно приймаємо наступні огорожувальні конструкції:

1. стінове огороження виробничого корпусу - стінова тришарова панель «Венталл-СЗдд» з утеплювачем з мінеральної вати щільністю 110 кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,049 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{З}$ , металевими обшивками товщиною 0,7 мм з гладкого листа, товщина панелі 100 мм,  $R_0 = 2,22 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$ , маса панелі 23,3 кг/м<sup>2</sup>;
2. покриття виробничого корпусу, покриття і стінове огороження виробничо-побутового корпусу зображені на малюнку 2.1;
3. вікна виробничого корпусу - по ГОСТ 23166-99 клас за показником приведенного опору теплопередачі вікна - Д2 (0,35-0,39 м<sup>2</sup>·°С/Вт).
4. вікна виробничо-побутового корпусу - по ГОСТ 23166-99 клас за показником приведенного опору теплопередачі вікна - Г2 (0,45-0,49 м<sup>2</sup>·°С/Вт).

#### **Список використаних джерел**

1. ДСТУ Б.А.2.4-4: 2009 «Основні вимоги до проектної та робочої документації»
2. Зельцер Р.Я., Лагутін Г.В., Погорельцев В.М. та ін.. Будгенплан. Курсове і дипломне проектування/за редакцією Ушацького С.А.-К.: «Хай-Тек Прес», 2011-192с.
3. Лубенець В.Г., Демидова О.О. Проектування організації будівництва промислових та цивільних будівель і споруд. Навчальний посібник.- К.: КНУБА, 2007, 136с.

**УДК 378.147.624**

### **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПОЗИТНИХ МОНОЛІТНИХ ПОКРИТТІВ БУДІВЛІ**



*Мельник О.Ю., студент*

*Дмитренко Є.А., к.т.н., ст. викладач*

У практиці проектування зустрічаються досить складні по конфігурації і за формою монолітні конструкції та їхні елементи. При розрахунку таких конструкцій актуальними є питання їх коректного моделювання в розрахунковій схемі, використовуючи для цього засоби, що надаються універсальними розрахунковими програмами. Зокрема, це стосується

моделювання таких простих конструкцій як монолітні перекриття, які можуть входити до складу будь-якої споруди або окремої конструкції. .

Визначаємо теоретичний прогин балки настилу від дії власної ваги і ваги перекриття:

$$f_{sg} = \frac{5ql^4}{384E_{sg}I_{sg}},$$

де  $q$  – сумарна власна вага;  $l$  – довжина балки настилу;  $E_{sg}$  – модуль пружності сталі;  $I_{sg}$  – власний момент інерції.

В моделі елементи перекриття утворені стрижнями загального виду  $w$  модель краще підходить для порівняння через те, що епюри згинальних моментів та поперечних сил відповідають теоретичному розрахунку. В моделі виникають максимальні горизонтальні переміщення, оскільки недостатня просторова жорсткість. Підвищити просторову жорсткості можливо, наприклад, за рахунок жорстких з'єднання та дисків перекриття. Тому далі необхідно проаналізувати три пластинчато-стрижневі моделі.

Модель №1. При зміщенні стрижневого елемента відносно нейтральної осі плити виникає необхідність врахувати ексцентриситет стиків елементів в вузлах Умова сумісності деформацій стрижнів і пластин будуть виконані за умови приєднання стрижнів до вузлів пластин за допомогою абсолютно жорстких ( $EI = \infty$ ) вертикальних вставок.

Модель №2 . Ця модель побудована на основі 1-ої моделі, але була виконана “розшивка вузлів” плити і балки з об’єднанням переміщень по X, Y, Z, щоб створити шарнір в нерозрізній плиті. Нові вузли належать СЕ стрижня, а старі вузли є загальними в суміжних СЕ плит. Таким чином додаткові моменти, які виникатимуть в самій плиті не будуть передаватися на балку настилу.

Модель №3. В цій моделі плита перекриття змодельована найпростішим скінченним елементом з двома ступенями свободи в вузлі. Зважаючи на відсутність у балки-стілки згинальної жорсткості, балка настилу самостійно сприймає прикладені на неї навантаження. В цьому випадку вертикальні навантаження прикладалися до балок безпосередньо, оскільки в СЕ балка-стінка навантаження з площини заборонені.

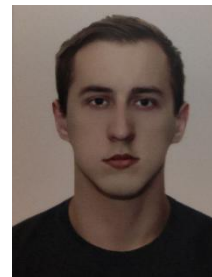
### **Висновок**

Для забезпечення горизонтальної жорсткості покриттів будівельних

об'єктів підвищеної поверховості в рамно-в'яз'євих конструктивних схемах каркасу краще застосовувати балку-стінку.

УДК 72.03

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ШУМУ ТА РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВІД ШУМУ «СТІНА КВАРТИРИ – СХОДОВА КЛІТКА»



*Хвищук В.С., студент*

*Дмитренко Є.А., к.т.н., ст.. викладач*

Джерела шуму в житлових приміщеннях поділяються на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх джерел шуму по відношенню до житлових та нежитлових приміщень, об'єкту проектування відносяться:

- шум автотранспорту на відкритих автостоянках;
- шум автотранспорту, що рухається по магістралям;
- шум від дитячих та спортивних майданчиків.

У відповідності з ДБН В.1.1-31:2013 перекриття між квартирами, а також між приміщеннями квартири та сходовими клітинами, коридорами, вестибюлями мають забезпечувати 52 дБ за індексом ізоляції повітряного шуму. Для визначення нормативних індексів ізоляції повітряного та ударного шуму таких як :

- індекс ізоляції повітряного шуму  $R'_w$ , дБ
- індекс приведенного рівня ударного шуму під перекриттям  $L'_{nw}$ , дБ.

Визначаємо координати точки В частотної характеристики ізоляції повітряного шуму  $R'$ , дБ (частоту  $f_B$  та величину звукоізоляції  $R'_B$ ):

- частоту  $f_B$  визначаємо в залежності від товщини стіни і щільності матеріалу за формулою:

$$f_B = 164 - 120 \lg h_c$$

- величину  $R'_B$ , дБ, визначаємо в залежності від поверхневої густини конструкції стіни за формулою:

$$R'_B = 211 \text{ gm} - 14 .$$

- індекс  $R'_w$  визначаємо шляхом порівняння розрахованої частотної характеристики звукоізоляції  $R'$  зі стандартною оціночною характеристикою ізоляції повітряного шуму  $R_N$ .

### **Висновки**

Забезпечення нормованих рівнів звуку в житлових приміщеннях досягається наступними проектними рішеннями: вентиляційне обладнання приймається якісним з низькими шумовими характеристиками (обертання електродвигунів 750÷1500 об/хв.) з встановленням їх на віброізолятори; з'єднання вентиляторів з повітроводами передбачається через гнучкі вставки; встановлення вентиляційного обладнання передбачається у відокремлених камерах з шумозахисними будівельними конструкціями; швидкості повітря у повітроводах приймаються в межах 5 – 5,5 м/с, що забезпечує безшумну роботу систем підпору повітря в тамбури на відмітці -3,000 при ліфті та при переході в гаражі; насоси в тепловій пункту приймаються малошумні з високими якісними характеристиками значення звукового тиску до 35 дБ; всі інші вентиляційні системи працюють тільки при пожежі.

**УДК 624.012.45**

## **АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГІНІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА НОРМАМИ АСІ 318-02**

*Бароян В.Е., студент*  
*Яковенко І.А., д.т.н., доц.*



Під час проектування, розрахунку і зведення залізобетонних конструкцій будівель та споруд доволі часто вирішальним є розрахунок не за граничними станами першої групи (міцність, стійкість), а саме розрахунок за граничними станами другої групи (тріщиностійкість та деформативність) [1]. Це насамперед впливає на надійну та безпечну подальшу експлуатацію залізобетонних конструкцій та будівель і споруд загалом [2, 3].

У відповідності з нормативними документами Сполучених Штатів Америки [4] необхідна жорсткість найбільш поширених залізобетонних конструкцій, які працюють на згин (плит, балок) у звичайних умовах експлуатації забезпечується, якщо висота або товщина її не менше необхідної, прийнятої згідно з таблицею 1.

Якщо висота перерізу (або товщина) конструкції менше зазначеної у таблиці 1, необхідно виконувати розрахунок її прогину [5]. Розрахунок виконується приблизно як для пружного елемента з урахуванням впливу на жорсткість тріщин в розтягнутій зоні і наявності арматури.

Прогин визначається окремо виходячи з дії короткочасних і тривалих навантажень. При короткочасній дії навантажень жорсткість елемента приймається рівною  $E_e I_e$ , де  $E_e$  – модуль пружності бетону,  $I_e$  – момент інерції, обчислений для перерізу з тріщинами.

Таблиця 1 – Найменша товщина залізобетонних плит або висота балок, при яких не потрібна перевірка прогину

Тип конструкції	Мінімальна товщина $h$ плит і балок			
	вільного спирання	нерозрізних		консольних
		у першому прогоні	у середньому прогоні	
Плити суцільні	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Балки та плити ребристі	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

В свою чергу

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g \quad (1)$$

де  $M_{cr}$  – момент утворення тріщин;  $M_a$  – максимальний згинальний момент, прикладений до елемента в стадії, для якої перевіряється прогин;  $I_g$  – момент інерції бетонного перерізу (наприклад,  $\frac{bh^3}{12}$  для елемента прямокутного профілю);  $I_{cr}$  – момент інерції однорідного приведенного перерізу.

Момент  $M_{cr}$  обчислюється за формулою

$$M_{cr} = \frac{(f_r / I_g)}{y_r}, \quad (2)$$

Тут

$$f_r = 0,62\sqrt{f_c}; \quad (3)$$

- $y_r$  – відстань від центру ваги бетонного перерізу до найбільш розтягнутого волокна.

Для нерозрізних балок величина  $I_e$  може бути прийнята за середнім значенням моменту інерції обчислених за залежністю (2) для перерізів з позитивним і негативним максимальними моментами (тобто в прогоні і на опорі). При наявності довготривалих навантажень до короткочасного прогину додається прогин від них, який обчислюється за спрощеною методикою згідно з якою, його значення приймається як сума короткочасного прогину від цих навантажень і додаткової його частини (отримана множенням короткочасного прогину на коефіцієнт  $\rho$ ). Коефіцієнт  $\rho$  знаходиться за наступною аналітичною залежністю:

$$\rho = 2 - \left( \frac{1,2A'_s}{A_s} \right) \geq 0,6 \quad (4)$$

де  $A'_s$  і  $A_s$  – відповідно площа перерізу стиснутої і розтягнутої арматури.

Відзначимо що формула (4) враховує зменшення повзучості бетону стиснутої зони внаслідок наявності в цій зоні арматури.

Повний прогин конструкції дорівнює сумі короткочасного прогину від повних навантажень (тривалих і короткочасних) з додатковою його частиною, отриманий множенням значення короткочасного прогину тільки від тривалих навантажень на коефіцієнт  $\rho$ , тобто

$$f_{tot} = f_{r1} + \rho \cdot f_{r2}, \quad (5)$$

де  $f_{r1}$  – короткочасний прогин під повного навантаження (довготривалого і короткочасного);  $f_{r2}$  – короткочасний прогин тільки від тривалого навантаження.

Обчислений таким чином повний прогин конструкції не повинен перевищувати значень вказаних у таблиці 2.



Таблиця 2 – Допустима величина розрахункового прогину

Тип конструкції	Допустимий прогин
Елементи конструкції терас не пов'язані з іншими конструкціями, великі прогини яких не допускаються.	$\frac{l}{180}$
Елементи конструкції міжповерхових перекриттів, не пов'язані з іншими конструкціями, великі прогини яких не допускаються	$\frac{l}{360}$
Елементи конструкції терас міжповерхових перекриттів, пов'язані з іншими конструкціями, великі прогини яких не допускаються	$\frac{l}{400}$
Елементи конструкції терас і міжповерхових перекриттів, пов'язані з іншими конструкціями, підвищені прогини яких допускаються	$\frac{l}{240}$

### Висновки

Запропонований алгоритм визначення прогинів залізобетонних конструкцій за нормами АСІ 318-02 залежить від короточасного прогину конструкції від дії на неї повного навантаження (довготривалого і короточасного) та короточасного прогину тільки від тривалого навантаження з урахуванням відповідного коефіцієнту, який залежить від співвідношення площі конструктивної та робочої арматури.

Безумовно напрямком подальших досліджень є врахування у методиці визначення прогинів таких параметрів як: наявність тріщин нормальних та похилих тріщин, зчеплення арматури з бетоном, вплив відповідного класу бетону та арматури, периметр та площа армування, тощо.

### Список використаних джерел

1. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
2. Бакулін Є.А. Визначення рівня безпеки промислових будинків, експлуатованих в умовах агресивних виробничих середовищ / Є.А.

- Бакулін // Вісник Національного авіаційного університету. – 2005. – Т.23. – №1. – С. 167–171.
3. Верюжський Ю.В. Підвищення безпечності висотного домобудування на основі впровадження ризикозахисних дій / Ю. В. Верюжський, Є.А. Бакулін // Вісник Національного авіаційного університету. – 2007. – Т.31. – №1. – С. 163–170.
  4. ACI 318-02. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-02) and commentary (ACI 318r-02).
  5. Notes on ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Code / edited by Mahmoud E. Kamara, Basile G. Rabbat. – USA, Portland Cement Association, 2005. – 1008 p.

**УДК 624.012.45**

**ВИЗНАЧЕННЯ ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН У  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ІЗ ПОЗИЦІЙ  
МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ**

*Дейчук В.В., студент*  
*Яковенко І.А., д.т.н., доц.*



Засновником макроструктурних деформаційних моделей залізобетону є В.І. Мурашов [1]. Його модель дає можливість інтегрально усереднити значення деформацій бетону і арматури на деякій характерній ділянці балки за допомогою коефіцієнта  $\psi_s$ , який обчислюється за емпіричними формулами і враховує такі фактори, як роботу розтягнутого бетону між тріщинами, перерозподіл напружень між бетоном і арматурою, нерівномірність напружень у бетоні і змінність висоти стиснутої зони залізобетонного перерізу.

Можна відзначити, що саме ця модель [1] отримала найбільш широке поширення в дослідженнях та практиці проектування залізобетонних конструкцій.

Для визначення параметрів граничних станів за другою групою, які обрані в якості основних при постановці дійсних досліджень, спираючись на

розроблені Яковенком І.А. двоконсольні елементи механіки руйнування стосовно до розрахунку залізобетонних конструкцій [2, 3] , з урахуванням ефекту, що виникає у залізобетонних конструкцій після порушення суцільності [4] і умовних зосереджених зсувів між арматурою та бетоном  $\varepsilon_g(y)$ , розглянуті передумови і отримана на їхній підставі формула для визначення ширини розкриття тріщин.

В основу практичної оцінки ширини розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях, спираючись на роботу [5] покладено наступні додаткові передумови:

- утворення тріщин відбувається після досягнення розтягнутими волокнами бетону вздовж осі поперечної (повздовжньої) арматури своїх граничних деформацій;

- у процесі навантаження виділяється декілька рівнів утворення тріщин; відстані між тріщинами наступного рівня приймаються зі співвідношення напружень у сусідніх тріщинах із використанням розрахункової схеми другого рівня;

- розкриття тріщин – це накопичення відносних умовних зосереджених взаємних зсувів арматури і бетону на ділянках, розташованих по обидві сторони від тріщини (рис. 1);

Гіпотеза деформаційного ефекту [4] у поєднанні з гіпотезою Томаса–Голишева про ширину розкриття тріщин у вигляді накопичення відносних взаємних зміщень деформацій арматури і бетону на ділянці між суміжними тріщинами [6], дозволяють визначити відносні взаємні зміщення на поверхні зчеплення з точністю цілком прийнятною для практичних розрахунків.

Відносні взаємні зміщення між арматурою і бетоном у довільному перерізі вздовж осі робочої арматури визначаються з рівняння (рис. 1):

$$\varepsilon_g(x) = \varepsilon_s(x) - \varepsilon_{ctk}(x), \quad (1)$$

На рис. 1 позначено:  $s_r$  – відстань між сусідніми тріщинами;  $t_*$  – навколоарматурна зона, яка приймається  $(1,5...2)\varnothing$  діаметра робочого арматурного стрижня;  $\varepsilon_{sm}$  – усереднені деформації арматури між сусідніми тріщинами.

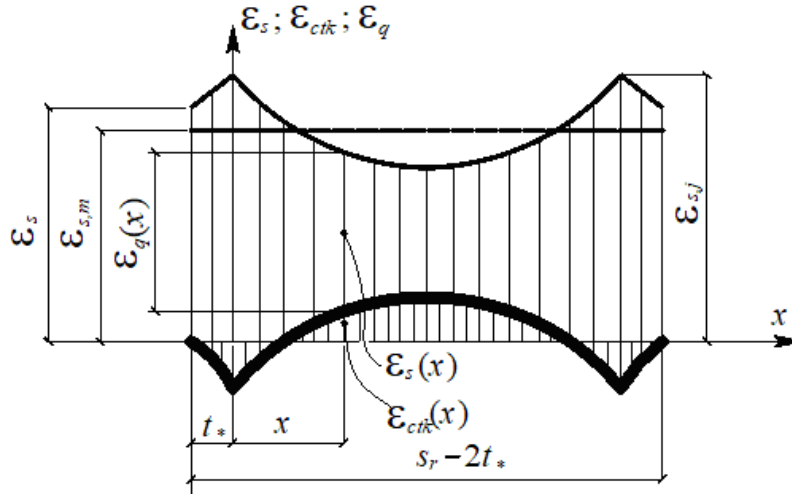


Рис. 1. До усереднення деформацій арматури  $\varepsilon_s$ , розтягнутого бетону між тріщинами  $\varepsilon_{crk}$  та деформацій між бетоном та арматурою  $\varepsilon_q$  між суміжними тріщинами

Використовуючи третю передумову, можна переходити до визначення ширини розкриття тріщин  $w_k$ . У підсумку:

$$w_k = -\frac{2\Delta T}{G} - \frac{2B_{a,2}}{B_*} - \frac{2B_{*,2}}{B_*} \ln \left( 1 + \frac{B_{a,2} \cdot A_{sw} E_{sw}}{q_{sw} S_s + B_{a,1} A_{sw} E_{sw}} \right), \quad (2)$$

де  $\Delta T$  – результуюча зусилля стиску у розтягнутій зоні бетону (розраховується за моделями, наведеними у роботах [2, 4, 6];  $B_*$  – параметр зчеплення арматури з бетоном, який залежить від площі арматури  $A_s$  та периметру арматури  $S_s$ ;  $A_{sw}$  – площа поперечної арматури (хомутів);  $E_{sw}$  – модуль пружності поперечної арматури;  $G = (0,3 \dots 0,45) E_{cm}$  – усереднений модуль пружності бетону, який використовується після появи тріщин у залізобетонній конструкції (після зниження її жорсткості).

Отримані залежності (1)–(2) враховують вплив ряду важливих факторів, таких як: деформації арматури в перерізі з тріщиною, параметри зчеплення арматури з бетоном  $B_*$ , геометричні характеристики перерізу і характеристики бетону і арматури, депланацію бетону на поверхні конструкції по відношенню до радіусу пограничного шару, деформаційний ефект (який виникає у залізобетонному елементі після порушення суцільності), відносні умовні

зосереджені взаємні зміщення бетону та арматури і, в необхідних випадках, вплив поперечної сили  $V$ .

### Висновки

Обґрунтована доцільність використання деформаційного ефекту у залізобетонних конструкціях, який показує, що ширина розкриття тріщин на рівні вісі робочої повздовжньої арматури є у 2...3 рази меншою ніж на віддалені 2,5...3 діаметрів цієї арматури, тобто тріщина розвивається не за трикутним профілем, який прийнято у більшості нормативних документів світу, а за більш складним профілем.

Врахування параметрів ефекту порушення суцільності, а саме результуючого зусилля стиску у розтягнутій зоні бетону  $\Delta T$ , напружень стиску  $\sigma_{ctk}$ , параметрів зчеплення арматур із бетоном дозволяють отримати більш точні результати ширини розкриття тріщин залізобетонних конструкцій.

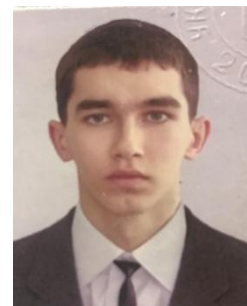
### Список використаних джерел

1. Мурашев В. И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона / В. И. Мурашев. – М.: Машстройиздат, 1950. – 268 с.
2. Iakovenko, I.(2018). The Development of Transformation Elements between the Fracture Mechanics Dependences and the Equations of the Reinforced Concrete Theory. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.8), 58-64. doi: 10.14419/ijet.v7i4.8.27214
3. Яковенко И.А. Трансформационный элемент, связывающий зависимости механики разрушения с теорией железобетона / И.А. Яковенко // Наука та будівництво. – 2018. – №4 (18). – С. 28–37.
4. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
5. Iakovenko I., Kolchunov VI. (2017). The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. Journal of Applied Engineering Science, vol. 15(2017)3, article 455, pp. 366–375. (In English), doi:10.5937/jaes15-14662
6. Ключева Н. В. К расчету ширины раскрытия наклонных трещин третьего типа в составных железобетонных конструкциях / Н. В. Ключева, И. А.

УДК 624.012.45

## ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ТРІЩИНАМИ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПРИ КРУЧЕННІ ЗІ ЗГИНОМ

*Єськов А.М., студент*  
*Яковенко І.А., д.т.н., доц.*



Залізобетонні конструкції відрізняються особливістю тріщиноутворення, що впливає на дійсний напружено-деформований стан і характеристики жорсткості перерізів [1]. Це в свою чергу призводить до необхідності прогнозування та врахування їхньої подальшої експлуатації [2].

У відомій науковій літературі практично відсутні дані щодо визначення жорсткостей при крученні залізобетонних елементів з нормальними тріщинами, хоча експериментальними дослідженнями встановлено вплив таких тріщин на зміну не лише жорсткостей при згині, але й жорсткостей при крученні.

Існуючі методики розрахунку присвячені в основному деформативності залізобетонних елементів при наявності просторових тріщин.

У діючих нормативних документах взагалі відсутня методика, яка б враховувала крутильну жорсткість елементів, які працюють на згин із крученням.

Чисте кручення елементів залізобетонних конструкцій практично не зустрічається. Дуже поширеними є елементи, що працюють на згин з крученням. Прикладом таких елементів можуть бути поздовжні ребра плитно-ребристих збірних і монолітних систем перекриття.

Огляд досліджень просторової роботи залізобетонних перекриттів дає змогу дійти висновку, що на просторову роботу ділянок перекриття істотно впливає не лише жорсткість при згині, але й жорсткість при крученні їхніх елементів [3, 4].

Експериментально встановлено, що жорсткість ребер збірних плит при крученні змінюється при тріщиноутворенні, хоча на ділянках, що віддалені від опор, взагалі не виникають просторові тріщини кручення.

У процесі експлуатації конструкцій від дії згинальних моментів в ребрах утворюються нормальні до поздовжньої осі елемента тріщини [5].

Однак, теорія деформування залізобетону з тріщинами припускає наявність просторових спіральних тріщин (теорія М.І. Карпенка) і є неприйнятною для елементів з нормальними тріщинами (у частині визначення їхньої жорсткості при крученні), хоча експериментально доведено, що утворення нормальних тріщин призводить до зміни крутильних жорсткостей.

Відомі дослідження стосовно кручення присвячені, як правило, вивченню міцності при крученні.

Робота залізобетонних конструкцій при дії кручення зі згином є вельми складним явищем. Як показують проведені експериментальні дослідження прямокутного перерізу, які працюють на дію кручення зі згином залежать від згинального моменту  $M$ , поперечної сили  $Q$  та крутного моменту  $M_T$ .

Для визначення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій виникає необхідність у визначенні повної картини тріщиноутворення в процесі навантаження.

При цьому важливо мати в своєму розпорядженні не тільки різні рівні тріщиноутворення нормальних тріщин, але і мати повну картину похилих тріщин, а при дії кручення зі згином – просторових тріщин.

За наявності відстаней між просторовими тріщинами (базовими) першого рівня уздовж поперечної або поздовжньої арматури у залізобетонних конструкціях і зусиль в поздовжній або поперечній арматурі в місцях перерізу тріщинами, нескладно перейти до визначення напруження в поздовжній арматурі  $\sigma_{s,x}$ , а також деформацій в бетоні  $\varepsilon_{bt}(x)$  і відносних взаємних зсувів арматури і бетону  $\varepsilon_g(x)$  у довільному перерізі  $x$  [3, 4] на подальших рівнях тріщиноутворення.

Для поперечної арматури з рівняння проєкцій всіх сил на вісь  $y$  ( $\Sigma Y = 0$ ;) відповідно до розрахункових схем другого, матимемо:

$$\varepsilon_{bt}(y) = \varepsilon_{sw} \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} - \varepsilon_{sw}(y) \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D_{13}} + \frac{D_{14}}{D_{13}} \cdot y + \frac{D_{15}}{D_{13}} \quad (1)$$

де параметри  $D_1 \dots D_{15}$  залежать від характеристик бетону, армування, зусиль, які діють на конструкцію, тощо.

Для поздовжньої арматури, що перетинається просторовими тріщинами, розрахункова схема другого рівня може бути трохи спрощена (рис. 1).

При цьому маючи в своєму розпорядженні напруження в поздовжній арматурі в перерізі з небезпечною похилою тріщиною (по критерію максимальної ширини розкриття на рівні осі поздовжньої арматури), представляється можливим визначити функціональну відстань між різними тріщинами  $l_{cr}$  вздовж осі поздовжньої арматури, а також, маючи в своєму розпорядженні напруження в поперечній арматурі в перерізі з небезпечною похилою тріщиною (по критерію максимальної ширини розкриття на рівні осі поперечної арматури), уздовж осей поперечної арматури. Як правило використовуються розрахункові схеми другого рівня (рис. 1).

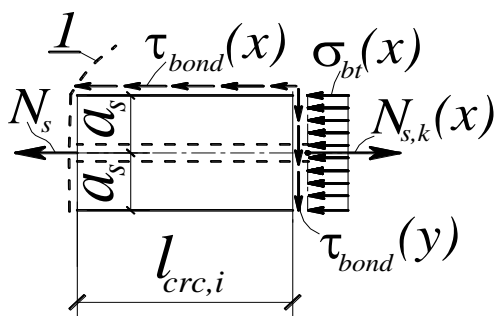


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення деформацій розтягнутого бетону  $\varepsilon_{bt}(x)$  уздовж осі поздовжньої арматури для  $i$ -го рівня утворення просторових тріщин у залізобетонній конструкції

Маючи в своєму розпорядженні напруження в поперечній арматурі або напруження в поздовжній арматурі в перерізі з координатою  $y$ , можна відшукати відносні взаємні зсуви арматури і бетону:

$$\varepsilon_g(y) = \varepsilon_{sw}(y) - \varepsilon_{bt}(y), \quad (2)$$

де на підставі роботи [5]

$$\varepsilon_{sw}(y) = \varepsilon_{sw} + \frac{\Delta T}{E_{sw} A_{sw}} - \frac{S}{A_{sw} E_{sw}} \int_0^y \tau(y) dy. \quad (3)$$

Тут  $S_s$  – периметр поперечного перерізу арматури;  $\varepsilon_s$  – деформації арматури в тріщині;  $\Delta T$  – результуюча умовного дотичного напруження в місцевій зоні, прилеглий до тріщини [1, 5];  $\tau(x)$  – умовне дотичне напруження.



## Висновки

Відстань між тріщинами є найважливішим параметром, необхідним для визначення ширини розкриття тріщин в залізобетонних конструкціях. З фізичних міркувань у формулі для визначення ширини розкриття тріщин логічно використовувати рівневе (дискретне) значення  $l_{crc}$  відповідно до нерівностей, наведених у роботі [1].

Характер епюри  $\varepsilon_{sw}(y)$ , виконаний із залученням дослідів інших авторів показує, що при певній величині навантаження деформації на ділянках, що примикають до тріщин, починають зменшуватися і навіть міняють знак, деформації ж в середині ділянки між тріщинами продовжують збільшуватися до тих пір, поки в цьому місці не з'являється нова тріщина. Аналіз характеру епюри  $\varepsilon_{br}(x)$  показує необхідність врахування деформаційної дії в тріщині.

## Список використаних джерел

1. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В.2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розроблені на їхню заміну / [Бамбура А.М., Павліков А.М., Колчунов В.І. та ін.]. – К. : Толока, 2017. – 627 с.
2. Бакулін Є.А. Визначення рівня безпечності промислових будинків, експлуатованих в умовах агресивних виробничих середовищ / Є.А. Бакулін // Вісник НАУ. – 2005. – Т.23. – №1. – С. 167–171.
3. Демьянов А. И. Разработка универсального короткого двухконсольного элемента к сопротивлению железобетонных конструкций при кручении с изгибом / А.И. Демьянов Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – №4(367). – С. 258–263.
4. Сальников А. С. Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида при кручении с изгибом / А. С. Сальников, Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – №3. – С. 35–40.
5. Яковенко И.А. Реализация метода физических моделей сопротивления применительно к расчету реконструируемых зданий из железобетона / И. А. Яковенко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2014. – №1. – С. 17–21.

## ВИКОРИСТАННЯ НАНОБЕТОНУ В СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Корж М.А., студент*

*Дмитренко Є.А., к.т.н., ст. викладач*



У будівництві використовуються різні види бетону, до складу яких входять в'язуча речовина, заповнювач і вода. Для поліпшення властивостей бетонної суміші додають пластифікуючі добавки. Такі компоненти в бетонному розчині продовжують термін експлуатації, підвищують морозостійкість і стійкість до впливів агресивних середовищ. Молекули пластифікаторів органічного та неорганічного походження адсорбуються на цементних частинках і дозволяють скоротити кількість води в розчині.

При використанні пластифікаторів зменшується потреба в'язучого становить у воді і збільшується рухливість бетонної суміші.

Нещодавно з'явився на ринку новий матеріал нанобетон принципово мало чим відрізняється від звичайних бетонних сумішей. У його складі також є мінеральне в'язке, заповнювач і вода. Тільки як пластифікатори застосовуються наноініціатори, що представляють собою мікроскопічні порожнисті трубки в кілька атомарних шарів вуглецевих полімерів. Діаметр цих нанотрубок - всього кілька одиниць мікрон, але їх міцність більше ста гігапаскалів. Крім того, їх перевагою є несприйнятливості до лугів і кислот. Коли наноініціатори взаємодіють з цементом, вони кристалізуються, армірують бетон і на молекулярному рівні змінюючи його структуру.

Нанобетон стійкий до високих температур, свої характеристики він зберігає при температурі до 800 ° С. Використання в бетоні наноініціаторів покращує фізико-механічні характеристики матеріалу, підвищуючи міцність на 150%, а морозостійкість - на 50%. Нанотрубки, що знаходяться в структурі облицювальних плиток з нанобетона, виділяють під впливом кисню атомарний кисень, який має бактерицидні властивості.

Так як зміна фізичної структури нанобетона різко знижує потребу в'язучого становить в воді, це дозволяє в шість разів зменшити вагу бетонних конструкцій і ймовірність появи тріщин. Внутрішнє молекулярне армування знижує потребу в армуванні бетонної конструкції.

Наноініціатори підвищують зчеплення бетону з металом, при цьому вони на молекулярному рівні взаємодіють навіть з шарами, що зазнали корозії.

Рекомендується використовувати нанобетон при будівництві залізобетонних конструкцій від 74 м і при зведенні об'єктів з підвищеними вимогами до пожежної безпеки та сейсмостійкості. Завдяки щільному легкої однорідної структури, нанобетон не потребує гідроізоляції, а висока міцність матеріалу дозволяє зменшити обсяги укладання нанобетона на 30%.

Так як готові споруди з нанобетона мають меншу вагу, ніж конструкції зі звичайного бетону, для них не потрібно потужний фундамент, а це дозволять скоротити вартість будівництва і трудовитрати.

Термін «нанобетон» сьогодні досить часто вживається в будівельному лексиконі. Це матеріал майбутнього, який стане незабаром гідною заміною традиційним бетонних сумішей.

Нанобетон зі своїми високими фізико-механічними характеристиками відкриває нові можливості для проектування і будівництва. Цей будівельний матеріал, виготовлений на основі прогресивних нанотехнологій, що відрізняється міцністю, легкістю, стійкістю до термічних перепадів, дозволяє здешевити будівництво нових об'єктів і полегшити реставрацію старих конструкцій.

Нанобетонами називаються бетони різних класів і марок. Зараз розробка технологій і рецептур на основі нанотехнологій знаходиться на початковій стадії. Але вже є готові суміші нанобетонів різної міцності, які рекомендовані до застосування в різних сферах будівництва.

### **Висновок**

Повітряному нанобетону належить майбутнє. Його застосування часто пов'язане з використанням відходів залізорудній та металургійній промисловості, вуглевидобутку, переробки каменю, інших матеріалів. Сировинний утиль здешевлює вартість готового наноматеріалу, паралельно вирішуючи питання екології та безпеки. Наномодифікатори знижують склад цементу та інших складових компонентів бетонної суміші.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ  
КОРЕНЕПЛОДУ З ҐРУНТУ ВІБРАЦІЙНИМ  
ВИКОПУВАЛЬНИМ ОРГАНОМ**



*Долбня Є.В., студент  
Головач І.В., д.т.н., проф.*

В Україні зростає виробництво цукрового буряку. Аналіз досліджень процесу викопування коренеплодів цукрового буряку вказує, що для підвищення якості викопування коренеплодів та зниження енергозатрат необхідно проведення теоретичних досліджень процесу вібраційного викопування з метою його всебічного вивчення та механіко-технологічного обґрунтування.

Для дослідження процесу вилучення коренеплоду з ґрунту за допомогою вібраційного викопуючого робочого органу необхідно розглянути безпосередній контакт коренеплоду з робочими поверхнями лемешів під час його захвату. Цей контакт може відбуватися безпосередньо між робочими поверхнями копача і тілом коренеплоду, або такий контакт відбудеться через достатньо тонкий шар ґрунту.

Необхідно окремо розглянути динамічну систему коренеплід – робочий орган з метою дослідження процесу коливань коренеплоду у ґрунті та його вилучення з ґрунту як твердого тіла, що відбувається під дією вібраційного викопуючого робочого органу у поздовжньо-вертикальній площині та внаслідок його поступального руху.

Складено модель вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні, схему силової взаємодії представлено на рис. 1. На ній показано:

- $\bar{Q}_{зб.1}$ ,  $\bar{Q}_{зб.2}$  збурювальні сили, що діють на коренеплід з боку вібраційного викопувального органу в точках контакту  $K_1$  і  $K_2$ ;
- $\bar{N}_1$ ,  $\bar{N}_2$  нормальні складові збурювальних сил  $\bar{Q}_{зб.1}$  і  $\bar{Q}_{зб.2}$  відповідно;
- $\bar{T}_1$  і  $\bar{T}_2$  дотичні складові збурювальних сил  $\bar{Q}_{зб.1}$  і  $\bar{Q}_{зб.2}$  відповідно;
- $\bar{P}_1$  і  $\bar{P}_2$  бокові рушійні сили, що діють на коренеплід з боку вібраційного

- викопувального органу в точках контакту  $K_1$  і  $K_2$ ;
- $\bar{L}_1, \bar{L}_2$  нормальні складові сил  $\bar{P}_1$  і  $\bar{P}_2$  відповідно;
  - $\bar{S}_1$  і  $\bar{S}_2$  дотичні складові сил  $\bar{P}_1$  і  $\bar{P}_2$  відповідно;
  - $\bar{F}_1, \bar{F}_2$  складові сил тертя, що діють на коренеплід в точках контакту  $K_1$  і  $K_2$  в напрямках векторів  $\bar{T}_1$  і  $\bar{T}_2$  відповідно;
  - $\bar{E}_1, \bar{E}_2$  складові сил тертя, що діють на коренеплід в точках контакту  $K_1$  і  $K_2$  в напрямках векторів  $\bar{S}_1$  і  $\bar{S}_2$  відповідно;
  - $\bar{G}_k$  вага коренеплоду;
  - $\bar{G}_{сп.}$  вага оточуючого ґрунту, що коливається разом з коренеплодом;
  - $\bar{R}_{x1}$  сила пружності ґрунту вздовж осі  $Ox_1$ ;
  - $\bar{R}_{z1}$  сила пружності ґрунту вздовж осі  $O_1z_1$ ;
  - $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  кутові параметри лемеша (тригранного клину).

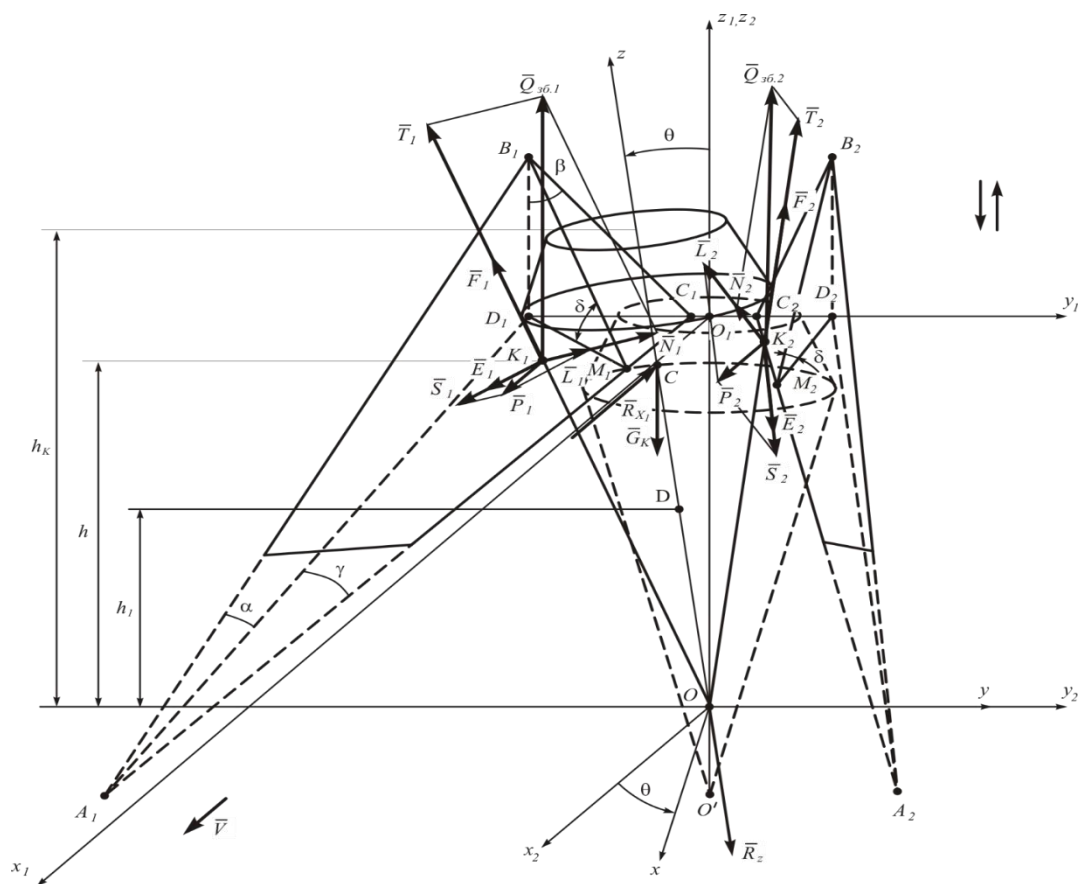


Рис. 1. Силова взаємодія коренеплоду з лемешами вібраційного викопувального органу, при його поступальних коливаннях разом з умовною точкою закріплення у ґрунті

Згідно схеми на рис. 1 складено математичну модель поступальних коливань коренеплоду у поздовжньо-вертикальній площині:

$$\left. \begin{aligned} (m_k + m_{ep.}) \ddot{x}_1 + \frac{c\pi h_1^2 \sin \gamma_k}{2 \cos^2 \gamma_k} x_1 &= \left[ \frac{\cos \delta \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} - f \cos^2 \delta \sin \gamma \times \right. \\ &\times \sin \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) + f \cos \delta \cos \gamma \cos \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) \left. \right] \times \\ &\times H \sin \omega t + \frac{2P_1 \sin \gamma \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} - 2fP_1 \cos \delta \sin \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) \sin^2 \gamma + \\ &+ fP_1 \cos \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) \sin 2\gamma, \\ (m_k + m_{ep.}) \ddot{z}_1 + \frac{c_1 \pi h_1 \sin \gamma_k}{\cos^2 \gamma_k} z_1 &= \left[ \frac{\cos \delta \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} + \right. \\ &+ \frac{f}{2} \sin 2\delta \sin \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) \left. \right] H \sin \omega t + \frac{2P_1 \sin \gamma \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} + \\ &+ 2fP_1 \sin \gamma \sin \delta \sin \left( \frac{\alpha_{K_1 \max}}{2} - \gamma \right) - (m_k + m_{ep.}) g, \end{aligned} \right\}$$

В наведеній математичній моделі:  $m_k$  – маса коренеплоду;  $m_{гр.}$  – маса оточуючого ґрунту, що коливається разом з коренеплодом;  $c$  – коефіцієнт пружної деформації ґрунту (відношення першого коефіцієнта Вінклера до площі контакту), тобто величина, яка показує, наскільки зростає напруження на контактній поверхні з коренеплодом при переміщенні коренеплоду на одиницю довжини, перпендикулярно до осі коренеплоду;  $c_1$  – коефіцієнт пружної деформації ґрунту, який показує, наскільки зростає зусилля на поверхні контакту при зміщенні поверхні контакту на одиницю площі контакту;  $h_1$  – висота нерозпушеного шару ґрунту, що оточує коренеплід;  $\gamma_k$  кут конусності коренеплоду;  $\alpha_{K_1 \max}$  – кут відхилення вектора сили тертя від вектора мінімальної сили тертя;  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  кутові параметри лемеша;  $H$  – амплітуда збурювальної сили;  $\omega$  – частота збурювальної сили;  $\bar{P}_1$  – величина бокової рушійної сили;  $f$  – коефіцієнт тертя поверхні коренеплоду по поверхні лемешів.

Система диференціальних рівнянь описує вільні і вимушені коливання коренеплоду (його точки закріплення  $O$ ) вздовж осей  $O_1x_1$  та  $O_1z_1$  разом з оточуючим коренеплід ґрунтом.

## Висновки

1. Створено математичну модель коливань коренеплоду як твердого тіла у пружному середовищі при симетричному захваті коренеплоду робочим органом (захваті коренеплоду двома лемешами одночасно), зокрема складена система диференціальних рівнянь поступальних коливань коренеплоду разом з оточуючим його ґрунтом.
2. Згідно розрахунків за наведеною математичною моделлю, центр мас коренеплоду через 0,025 с здійснює переміщення по осі  $Ox_1$  на відстань 50 мм при частоті збурюючої сили  $\nu = 10, 15$  і 20 Гц, а по осі  $Oz_1$  при частоті збурюючої сили  $\nu = 10$  Гц – на відстань 33 мм ( $c_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 21 мм ( $c_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 13 мм ( $c_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), при  $\nu = 15$  Гц – на відстань 35 мм ( $c_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 25 мм ( $c_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 15 мм ( $c_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), при  $\nu = 20$  Гц – на відстань 40 мм ( $c_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 30 мм ( $c_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), на відстань 20 мм ( $c_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ). Отримані розрахункові значення амплітуд коливань коренеплоду як твердого тіла для розглянутих кінематичних режимів повністю забезпечують руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом і створюють умови для їх безпосереднього вилучення.
3. Проведені на ПК розрахунки дали можливість знайти час безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту та проаналізувати вплив конструкційних параметрів робочого органу і кінематичних режимів виконання технологічного процесу на час вилучення коренеплоду з ґрунту. Так, при амплітуді збурювальної сили  $H = 500 \text{ Н}$ , значенні бокової рушійної сили  $P_1 = 400 \text{ Н}$ , силі опору ґрунту по осі  $Ox_1$   $R_x = 100 \text{ Н}$ , по осі  $Oz_1$  – 100 Н, частоті збурювальної сили  $\nu = 10$  Гц, час вилучення коренеплоду з ґрунту становить 0,032 с. При зміні амплітуди збурюючої сили у межах 100...700 Н (для значень бокової рушійної сили  $P_1 = 400 \text{ Н}$  і частоті збурювальної сили  $\nu = 10$  Гц) час вилучення коренеплоду з ґрунту змінюється у межах 0,053...0,028 с.
4. При зміні бокової рушійної сили у межах  $P_1 = 100...700 \text{ Н}$  (для значень амплітуди збурювальної сили  $H = 500 \text{ Н}$  і частоті збурювальної сили 10 Гц) час вилучення коренеплоду з ґрунту змінюється у межах 0,043...0,026 с.

### Список використаних джерел

1. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины : история, конструкция, теория, прогноз. – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
2. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. – К. : Сільгоспосвіта, 1996. – 252 с.
3. Головач І. В. Теорія безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні // Механізація с.-г. виробництва : вісник Харківського нац. техн. ун-ту с.-г. ім. П. Василенка : зб. наук. пр. – 2006. – Вип. 44. – Т. 2. – С. 77–100.
4. Булгаков В.М., Головач І.В., Березовий М.Г. Вібраційний викопуючий робочий орган. – Вчені Технічного ін-ту НАУ – виробництву. Аграрна інженерія в умовах глобалізації : зб. заверш. наук. розроб. – К. : НАУ, 2008. – С. 56-57.
5. Bulgakov, V., Holovach, I., Berezovyy, M. Theory of the sugar beet root crops vibration digging up. Conference Proceedings - 3rd International Conference, TAE 2007: Trends in Agricultural Engineering 2007. – pp. 84-91.

УДК 631.356.2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ, ЯКА ФРОНТАЛЬНО НАВІШЕНА НА КОЛІСНИЙ ТРАКТОР



*Пушкар Є.М., студент*

*Черниш О.М., к.т.н., доц.*

Аналіз досліджень процесу збирання урожаю цукрового буряку вказує на те, що підвищення ефективності збирання гички з головок коренеплодів та зниження енергозатрат виконання технологічного процесу збирання можливе лише на підставі теоретичного обґрунтування режимів руху збирального агрегату та вибору раціональних кінематичних параметрів і режимів роботи всієї машини та її робочих органів.

Досліджено математичну модель руху гичкозбиральної машини, яка фронтально навішена на колісний трактор (рис. 1).



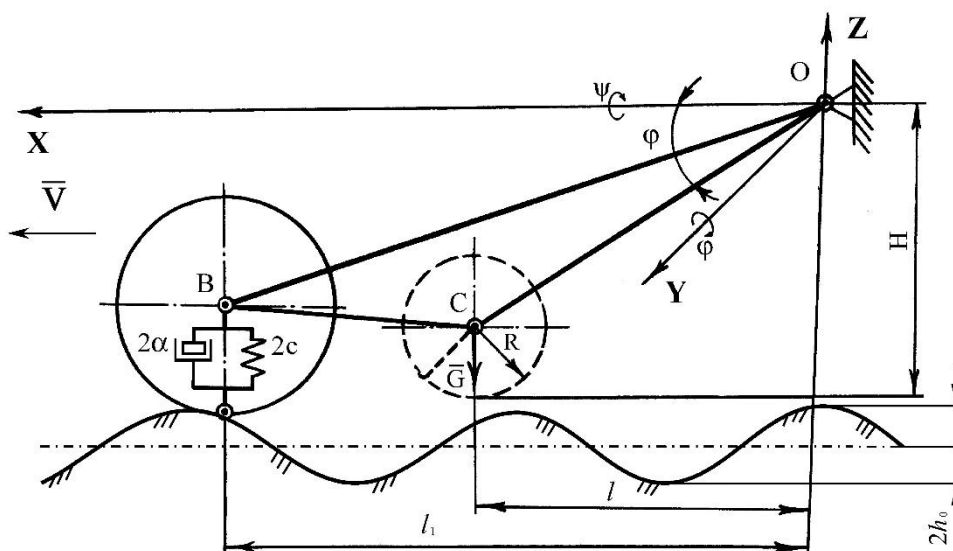


Рис. 1. Розрахункова схема фронтально навішеної гичкозбиральної машини

Маса всієї гичкозбиральної машини –  $M$ ; маса копіювальних коліс –  $m = m_1 + m_2$  (де  $m_1$  і  $m_2$  – відповідно маси першого і другого колеса). Маса копіювальних коліс  $m$  зосереджена в точці  $B$ . Сила ваги гичкозбиральної машини  $G$  прикладена в її центрі мас (точка  $C$ ).

В результаті застосування загальних рівнянь в формі Лагранжа II-го роду, враховуючи, що дана коливальна система може бути приведена до двох узагальнених координат  $\varphi$  і  $Z$ , отримано систему диференціальних рівнянь руху гичкозбиральної машини у повздовжньо-вертикальній площині:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi} + \frac{2\alpha l_1^2}{I_{oy}} \dot{\varphi} - \frac{2\alpha l_1}{I_{oy}} \dot{Z} - \frac{2Cl_1}{I_{oy}} Z + \frac{2Cl_1 h}{I_{oy}} &= 0, \\ \ddot{Z} + \frac{2\alpha}{m} \dot{Z} - \frac{2\alpha l_1}{m} \dot{\varphi} + \frac{2C}{m} Z - \frac{2Ch}{m} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $C$  – коефіцієнт жорсткості шин коліс копіювальної системи;  $\alpha$  – коефіцієнт демпфірування шин копіювальних коліс;  $I_{oy}$  – момент інерції машини відносно осі  $OY$ ;  $l_1$  – відстань від осі підвісу машини до осі копіювальних коліс;  $m$  – маса копіювальних коліс;  $h$  – висота нерівності поверхні ґрунту.

Система (1) з заданими початковими умовами була розв'язана адаптованим методом Рунге-Кутта в системі MathCAD. За результатами чисельного моделювання одержано залежності узагальнених координат  $Z(t)$ ,  $\varphi(t)$  від часу  $t$  у перші 2 с.

Аналітично досліджено втрати гички при її зрізуванні роторним

гичкорізальним апаратом, з врахуванням його коливань у повздовжньо-вертикальній площині, а також зміни нерівностей поверхні ґрунту з розташованими головками коренеплодів.

В загальному випадку вказана аналітична залежність, при умові зміщення осевого зсуву косинусоїди коливань гичкорізального апарату, має вигляд:

$$B = H + h_1 \cos\left(\frac{4\pi}{l_3} X - P\right) - h_0 \cos\frac{2\pi}{l_3} X$$

де  $P$  – значення осевого зсуву косинусоїди коливань гичкорізального апарату.

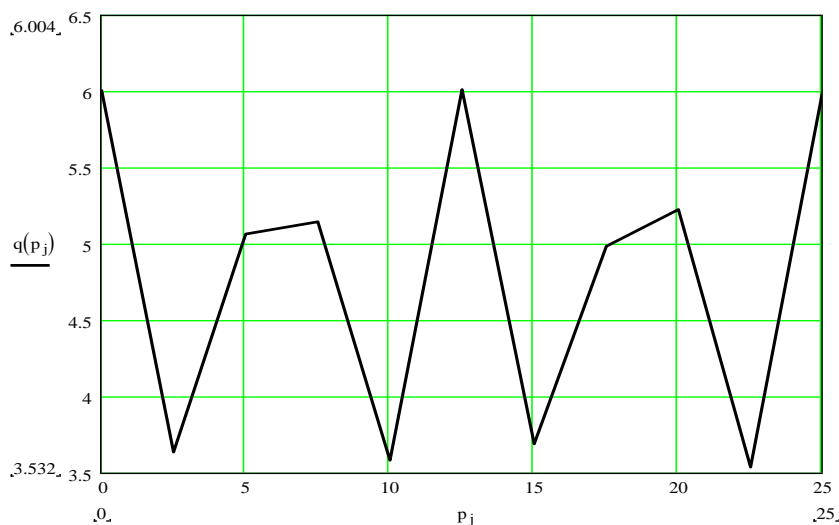


Рис. 2. Втрати гички ( $q$ , %) в залежності від значень зсуву ( $P$ , см) косинусоїди коливань гичкорізального апарату відносно косинусоїди нерівностей поверхні ґрунту ( $H = 3,7$  см)

### Висновки

1. Аналіз досліджень процесу збирання гички цукрового буряку вказує, що для підвищення якості виконання цього технологічного процесу та зниження енергозатрат необхідно проведення теоретичних досліджень процесу руху гичкозбиральної машини по нерівностям поверхні ґрунту та з метою його всебічного вивчення та механіко-технологічного обґрунтування.
2. Складено математичну модель руху гичкозбиральної машини яка виконує суцільне зрізання основної маси гички роторним гичкорізальним апаратом з горизонтальною віссю обертання.
3. За результатами розрахунків на ПК встановлено, що основними раціональними конструктивними і кінематичними параметрами гичкозбиральної машини є: момент інерції машини відносно осі підвісу

$I_{oy} = 65,00...85,00 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ; відстань від осі підвісу машини до осей копіювальних коліс  $l_l = 1,5 \text{ м}$ ; коефіцієнти жорсткості копіювальних коліс  $c = 2000...2500 \text{ Н/м}$ ; коефіцієнт їх демпфірування  $\alpha = 73...85 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$ ; швидкість поступального руху  $2,0 \text{ м/с}$ .

4. Розроблено математичну модель аналітичного визначення втрат гички при її зрізанні з врахуванням коливань гичкорізального апарату у поздовжньо – вертикальній площині і нерівностей поверхні ґрунту. Аналітично визначено мінімальне значення висоти розміщення гичкорізального апарату над рівнем поверхні ґрунту з врахуванням агротехнічних вимог до збирання гички і забезпечення нормального зрізу головок коренеплідів (має бути в межах  $4,0 - 6,0 \text{ см}$ ).
5. Визначено залежності мінімальних втрат гички. Отримано значення втрат гички  $q$  залежно від висоти встановлення гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля, які змінюються від  $6,0$  до  $12\%$ .

#### Список використаних джерел

1. Булгаков В.М., Войтюк Д.Г., Березовий М.Г., Сипливець О.О. Універсальна косарка-подрібнювач для фермерських господарств. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Глеваха: ІМЕСГ УААН, 1997, С.14-16.
2. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. – К. : Сільгоспосвіта, 1996, 252 с.
3. Калетнік Г.М., Черниш О.М., Березовий М.Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Зб. Наук. праць Вінницького нац. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – 2012, №11, т.1 (65), С.8-18.
4. Булгаков В.М., Сипливець О.О., Березовий М.Г. Аналітичне дослідження руху машинного агрегату. – Зб. Наук. праць Нац. аграр. Ун-ту “Механізація сільськогосподарського виробництва”, Том V. “Сучасні проблеми механізації сільського господарства”, Київ, 1999, С. 321–326.
5. Bulgakov V., Berezovyy M., Syplivietz O., Wasilewski J. Analytical Research of The Movement of a Hinged Machine Unit. – Polish Academy Of Sciences Branch In Lublin. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Volume II. LUBLIN. Poland, 2002, pp. 24–30.

6. Bulgakov V., Pascuzzi S., Anifantis A.S., Santoro F. Oscillations analysis of front-mounted beet topper machine for biomass harvesting. *Energies*, 2019, Vol. 12, Issue 14, Art. number 2774.

**УДК 621.833.38**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРІВ ВАЛМЕТ-8750**

*Чалий О.В., студент*  
*Сиволапов В.А., ст. викладач*

Вивчення технічного стану деталей почали з корпусу коробки передач тракторів Валмет-8750, оскільки від його стану в значній мірі залежить довговічність роботи коробки передач.

Виявлено основні пошкодження - пошкодження різи, знос поверхонь отворів під стакани та під підшипники, знос поверхонь отворів під штифти, знос поверхні під поводки.

При наявності зломів, які виходять на поверхню отворів, корпус вибраковуюють.

Тріщини корпусу відновлюємо механізованим зварюванням чавуну самозахисним дротом ПАНЧ-11 без підігріву. Зварювання дротом ПАНЧ-11 здійснюється, відкритою дугою, без додаткового захисту газом або флюсом. Кращі результати забезпечуються на постійному струмі прямої полярності при слідуючих значеннях параметрів режиму (для дроту діаметром 1,2 мм):  $I_{зв} = 100 \dots 140 \text{ A}$ ;  $U_a = 14 \dots 18 \text{ В}$ ;  $V_{зв} = 0,15 \dots 0,25 \text{ см/с}$ .

Горіння дуги відрізняється стабільністю, процес протікає практично без розбризкування, формування швів хороше, без подрізів та інших зовнішніх дефектів, у всіх просторових положеннях.

Метал шва характеризується наступними показниками механічних властивостей: межа міцності - до  $55 \text{ кгс/мм}^2$ , межа текучесті - до  $35 \text{ кгс/мм}^2$ , подовження - до 25%. Властивості сполук в цілому визначаються зварюваним чавуном. При випробуванні на розтягування зразки руйнуються, як правило, по основному металу.

Малий діаметр дроту (1 ... 1,2 мм) ПАНЧ-11 дає можливість рекомендувати вузьку обробку кромки. У результаті цього досягається значне зменшення тепловкладення в деталь, забезпечуються жорсткі термічні цикли в районі зварювання, звужується зона структурних перетворень в основному металі. Для зварювання дротом ПАНЧ-11 придатні будь-які шлангові напівавтомати, призначені для подачі дроту діаметром 1 ... 1,2 мм: А-547, А-547У; А-285; серії ПДГ та інші в комплекті з випрямлячами ВС-200; ВС-300 або зварювальними перетворювачами з жорсткою характеристикою.

При пошкодженні різі отвір розсвердлюють, нарізають різьбу і встановлюють ремонтну пробку на епоксидній суміші. Зміщення осей відновлених різьбових отворів допускається не більше як на 0,25 мм від їх номінального розміщення.

Спрацьовані отвори під підшипники і стакани підшипників розточують, проводять місцеве осталювання і знову розточують до нормальних розмірів.

Під час осталювання поверхня повинна бути рівною, срібисто-білого кольору. Тріщини, відшарування, пори, раковини, темні смуги на поверхні покриття не допускаються.

Основними дефектами валів та шестерень є спрацювання шліців, поверхонь під підшипники кочення, зубів по товщині, органічні і мінеральні відклади, пошкодження різі, тріщини, поломка і викришування зубів.

При незначному спрацюванні посадочних поверхонь під підшипники кочення (до 0,06 мм на діаметр) їх відновлюють за допомогою еластоміра Г9Н-150В. При значному спрацюванні (більше 0,06 мм) поверхні наплавляють віброконтактним способом наплавочним дротом 1,8Нп-50, обточують і шліфують до нормальних розмірів.

Після обточування поверхні обробляють пластичним деформуванням за допомогою обкатки роликками.

Спрацьовані шліци (при зменшенні їх товщини на 0,5 мм і більше) наплавляють у середовищі вуглекислого газу, потім вал обточують, фрезерують шліци і гартують їх за допомогою струму високої частоти. Після цього вал шліфують до нормального діаметра.

**АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ  
ПНЕВМАТИЧНОГО КОЛЕСА**



*Авраменко С.А., Шеремет Д.О., студенти  
Чуба В.В., к.т.н., доц.*

Сучасні виробники розробили різноманітні за формою протектори сільськогосподарських шин для забезпечення працездатності в тих чи інших дорожніх умовах. Привідні колеса енергозасобу виконують функцію утворення тягової сили МТА і повинні забезпечувати зчеплення з ґрунтом при мінімальному тиску на нього та забезпечувати мінімальне значення буксування. Для визначення тих чи інших параметрів роботи колеса використовують різноманітні методи та обладнання для моделювання відповідних робочих умов.

Багато праць присвячених вивченню подовжніх та поперечних напружень в зоні контакту шини з опорною поверхнею виконані на барабанних стендах різноманітної конструкції. У дослідженні зчеплення шин з дорожнім покриттям описано використання барабанних стендів із внутрішньою [1] або зовнішньою поверхнею кочення [2, 3]. Одним із недоліків барабанних стендів є кривизна поверхні барабану, що вносить похибки в результати експериментів. Також слід зазначити, що суттєвим недоліком стендів з біговими барабанами є неспроможність моделювання ними умов створення тягової сили [4] ведучими колесами або моделювання тягового опору.

В роботі [5] для визначення тягового опору перекочування на різному агрофоні автори використовували метод буксирування (рис. 1), горизонтальне навантаження задавалося вагою самого енергозасобу.

При дослідженні впливу тиску в шині на ґрунт при різному вертикальному навантаженні та швидкості руху автори [6] використовували закріплене в каретці, за допомогою тензодатчиків, колесо, яке рухалося по ґрунтовому каналу (рис. 2).



Рис. 1. Вимірювання опору перекочуванню енергозасобу

Тиск на ґрунт моделювався за допомогою зміни тиску вертикального гвинта на закріплене колесо, швидкість руху варіювалася за допомогою зміни обертів електродвигуна, який буксирував каретку по ґрунтовому каналу.

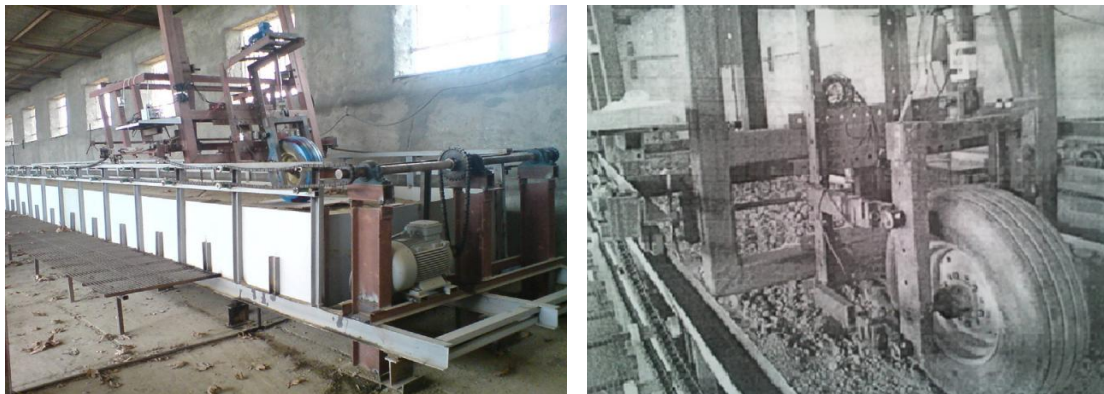


Рис. 2. Дослідження впливу тиску в шині на ґрунт

Слід зазначити, що даний метод використаний в роботі [5,6] дозволяє визначити опір перекочування та вплив на ґрунт веденого колеса, а не привідного. Це відбувається при реалізації енергозасобом необхідної потужності.

При проведенні цифрової фотограмметрії сільськогосподарських шин для формування 3-d відбитка шини [7] використовувалася сервопривідна гідравлічна машина, яка дозволяє моделювати вертикальне навантаження на колесо в бункері наповненому ґрунтом (рис. 3).





Рис. 3. Система статичного навантаження колеса

В роботі [8], при визначенні зміни тягової сили в залежності від тиску в шині, від вертикального навантаження та вологості ґрунту, застосовано експериментальний стенд (рис. 4). Реалізація наведеної схеми дала можливість виконати навантаження пневматичного колеса горизонтальним зусиллям і прикласти до вісі колеса відповідний крутний момент.

Застосування даної принципової схеми надає можливість виконати дослідження впливу тиску в колесі та вертикального навантаження на зміну максимальної тягової сили, при якій починає відбуватися повне буксування колеса. Слід зазначити, що застосування даної принципової схеми не дає змогу оцінити опір перекочуванню колеса та змоделювати рух із різним ступенем буксування крім повного.

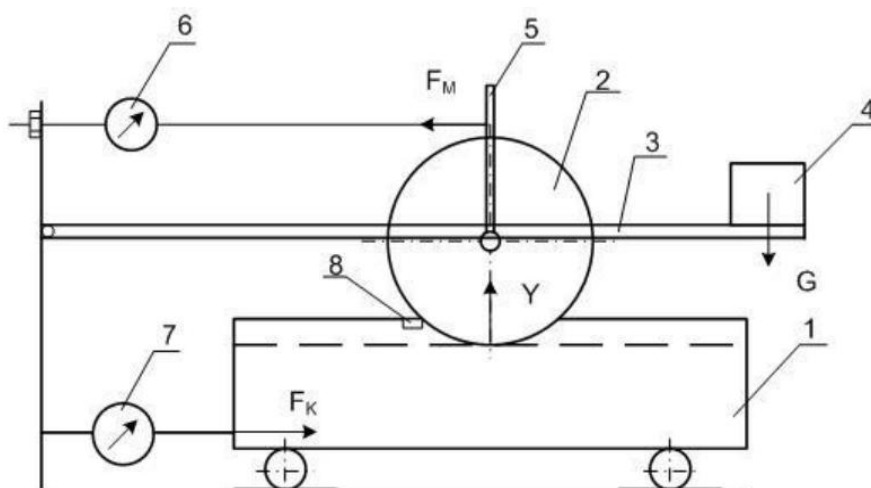


Рис. 4. Принципова схема стенда з ґрунтовим каналом для визначення тягових параметрів ведучих коліс: 1-ґрунтовий канал; 2-колесо, що випробується; 3-навантажувальна рамка; 4-баластна вага; 5-важель крутного моменту; 6-



тензометрична рамка вимірювання крутного моменту; 7-тензометрична ланка вимірювання тягової сили; 8-датчик лінійних переміщень

### **Висновок**

В результаті аналізу розглянуто існуючі стенди та проаналізовані різні методи проведення випробувань привідного колеса. Аналіз дозволяє стверджувати, що для отримання адекватних результатів впливу конструктивних та технічних параметрів шини на показники контактної взаємодії доцільно застосовувати динамічне навантаження колеса крутним моментом з одночасним вертикальним навантаження. Проведені дослідження дають змогу розробити схему навантаження та вибрати обладнання для проведення моделювання роботи приводного колеса в умовах максимально наближених до реальних.

### **Список літератури**

1. Калининский В.С. Модернизация универсального стенда модели 3327 для испытания шин и резино-технических изделий / Калининский В.С., Маслов И.В. // Каучук и резина. - 1987. - № 7. –С. 35-38.
2. Зарщиков А.М. Стенд для исследования выходных характеристик шин легковых автомобилей / А.М. Зарщиков, А.Б. Дик // Труды Междунар. конф. «Проблемы шин и резинотехнических композитов. Четвертый симпозиум». - М.: НИИШП, 1992. - С. 112-118.
3. Захаров С.П. Распределение удельного давления шины на дорогу при высоких скоростях / Захаров С.П., Новопольский В.И. // Труды НИИШП. - М.: Госхимиздат, 1957.-С. 131-153.
4. Golub G. A. Determining the magnitude of traction force on the axes of drive wheels of self-propelled machines G Golub, V Chuba, S Kukharets - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017
5. Botta, G.F.; Tolon-Becerra, A.; Tourn, M.; Lastra-Bravo, X.; Rivero, D. Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. Soil Till. Res. 2012, 120, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.008>.
6. Taghavifar, H., & Mardani, A. (2013). Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. Journal of Terramechanics, 50, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>

7. Kenarsar, A.; Vitton, S.; Beard, J. Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. Journal of Terramechanics, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.06.001>
8. Овсянников С.И. [Тяговые параметры пневматических шин мотоагротехники](#) / С.И. Овсянников // Наук. видання Вісн. ХНТУСГ, вип. 2 «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів», - Х.: 2014. - С. 102-107

УДК 621.518.54:621.833.38

## АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

*Власюк М.О., студент*

*Чуба В.В., к.т.н., доц.*



Для функціонування різних видів сільськогосподарської техніки широко використовуються приводи, основу яких складають зубчасті передачі та шліцьові з'єднання. Найбільші навантаження сприймають силові приводи робочих машин [1]. Зокрема, зубчасті передачі приводів машин працюють в умовах високих ударних і вібраційних навантажень, в широкому діапазоні температур, при підвищеній вологості і значному вмісті абразивних частинок в навколишньому середовищі [2].

Залежно від конструкції приводів їх вплив на надійність машин змінюється в межах 30...67 % від загального числа відмов машин. Кожна із складальних одиниць приводів машини визначає технічний стан трансмісії в цілому. Для автогрейдерів, наприклад, час простою, пов'язаний з усуненням відмов трансмісії, становить близько 67 % загального часу простоїв в ремонті [3]. У порядку збільшення безвідмовності основні елементи трансмісії можна розподілити таким чином: зчеплення – 43 % загального числа відмов трансмісії, коробка передач – 35 %, карданна передача – 16 %, редуктор ведучого моста – 6 % [4]. За для механічних трансмісій термін служби зубчастих передач становить 4000...10<sup>4</sup> год. Однак за високих ударних навантажень і інших експлуатаційних факторів інтенсивність зношення може значно зрости.

Інтенсивність зношування бічної поверхні зубів зубчастих передач залежить від швидкісного, навантажувального та температурного режимів роботи [5]. Додатково, одним з впливових факторів, що діє на стан зубчастих передач є рівень сервісного обслуговування, який, в свою чергу, визначається рівнем кваліфікації обслуговуючого персоналу, наявністю сучасного діагностичного обладнання приводів машин, відповідність умовам експлуатації та якість мастильного матеріалу для мащення зубчастих передач.

При роботі зубчастої передачі під навантаженням, в місці контакту коліс з'являються напруги, які перевищують за величиною межу витривалості (для цементованих зубчастих передач межа контактної витривалості складає 23 HRC при циклі випробувань  $1,2 \cdot 10^8$ , при цьому мають місце два види втомного руйнування поверхневих шарів: пітінгова корозія (глибинне контактне руйнування), відшаровування і заїдання. Для шліцьових ділянок валів зазор, більший за нормоване значення, пояснюється пластичним деформуванням шліців. Бічний зазор в з'єднаннях може збільшуватися більш ніж на 50 %. Залежно від геометричних параметрів зубчастих коліс, величини контактного навантаження, умов роботи і якості поверхневої хіміко-термічної обробки шарів обидва види поверхневого руйнування можуть мати місце одночасно або, за певних умов, може переважати одне з явищ. Значний вплив на виникнення і розвиток втомлювального контактного руйнування чинять структурні характеристики цементованих шарів. Причому для кожного виду контактного руйнування цей вплив є різним. Залежно від геометричних параметрів передачі і рівня навантаження виникнення пітінгової корозії може ініціювати прогресуюче викришування поверхонь зубів (відшаровування). Викришування, яке зароджується в полюсі зачеплення, характеризується глибокими і значними по площі поверхнями з викришеними частинками і має тенденцію поширюватися по всій поверхні контакту зубців [6]. За результатами експериментальних досліджень [7] встановлено, що критерієм справного технічного стану високо-напружених зубчастих коліс є саме цей вид руйнування поверхонь зубів, рис. 1.

На процес утворення глибинного контактного руйнування (відшаровування) головним чином впливають напруги зсуву, які виникають під дією контактних навантажень в зміцненому шарі на певній глибині від поверхні. Глибина розташування і величина максимальних напружень зсуву залежить від багатьох факторів, основними з яких є: радіуси кривизни профілю

зуба, величина контактних напружень, величина і характер розподілу твердості по глибині цементованого шару. Окрім поламки зубів від втомлювальних навантажень, основним критерієм технічного стану високо-напружених зубчастих коліс є відшаровування поверхонь зубів, що зароджується в глибині зміцненого шару.



Рис. 1. Прогресуюче викришування зубів зубчастої передачі

При певній кількості годин напрацювання, за низької якості мастильних матеріалів та режимах роботи з високим навантаженням прогресуюче зношення коліс зубчастих передач викликає збільшення сумарного куткового зазору трансмісії в 6...8 разів. Значною мірою зростають і динамічні навантаження в зубчастих передачах, які перевищують нормативні значення переданого корисного навантаження в 2...3 рази і більше [8].

При роботі коліс зубчастої передачі на режимах під навантаженням через тиск, величина якого залежить від типу і якості мастильного матеріалу відбувається розрив масляної плівки і молекулярне з'єднання контактуючих поверхонь зубів порушується. Виникає адгезійне зношення, яке протікає в декілька етапів. Розпочинається з початкової фази (характеризуються схоплюванням і руйнуванням локальних ділянок контактуючих поверхонь зубів), продовжується прогресуючим етапом і завершується заїданням з пластичними деформаціями (часто має швидкоплинний, експоненціальний характер) [9]. Наведені дефекти через дію режимів високих навантажень та тип мастильного матеріалу, який не відповідає характеру та умовам роботи, є небезпечними, оскільки руйнування зубів зубчастих передач, через потрапляння в зону зачеплення або в підшипники механічних продуктів руйнування, призводять до поламок та виходу з ладу коробок передач. За появи пітінгової корозії, процесів відшаровування або заїдання жорсткість зачеплення

в момент контакту дефектного зуба зменшується, наступна пара зубів входить в зачеплення передчасно, і момент входу кромки зуба в зачеплення супроводжується ударом.

Ударний імпульс, амплітуда якого пропорційна степені розвитку дефекту, чинить негативний вплив на зубчасту передачу, динамічні складові роботи якої призводять до підвищених напруги. Для запобігання розвитку процесів пітингової корозії, відшаровування або заїдання, а також для зниження відсотка раптових відмов відповідно до ДСТУ 3649:2010 визначається основний діагностичний параметр (сумарний кутовий зазор) за значенням якого оцінюють технічний стан зубчастих передач коробок передач трансмісій і прогнозують їх залишковий ресурс.

Станом на 2017–2019 роки в якості базової машини для широкого спектру робіт застосовується тракторна техніка, трансмісії якої мають широкий діапазон робочих швидкостей. На сільськогосподарських підприємствах трактори МТЗ є базовою машиною для виконання транспортних операцій, посівних і збиральних робіт. Слід зазначити, що згідно проведеному аналізу рівень сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки в експлуатуючих техніку організаціях є невисоким.

### **Висновок**

Покращення оцінки технічного стану зубчастих передач коробок передач шляхом їх контролю за допомогою сучасних засобів діагностики дозволить зменшити роль суб'єктивного фактору в оцінці технічного стану зубчастих передач, спрогнозувати залишковий ресурс, знизити трудомісткість і підвищити оперативність оцінки технічного стану зубчастих передач.

### **Список використаних джерел**

1. Гришкевич А.И. Проектирование трансмиссий автомобилей: учеб. пособие / А.И. Гришкевич; под ред. А. И. Гришкевича. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
2. Прибор Микролаб /В.В.Иванов [и др.]// Строительные и дорожные машины. - 2006. - № 6. - С. 34-38.
3. Микропроцессорные приборы для диагностирования приводов строительно-дорожных и путевых машин / В.И. Любельский [и др.] // Строительные и дорожные машины. - 2004. - № 2. - С. 42-48.
4. Усовершенствованный стенд для испытаний механических коробок передач/ В.В. Геращенко [и др.]// Строительные и

дорожные машины. -2004. -№ 6. - с.22-26.

5. Коровкин Г.В. Timbermatic 300 - компьютерная система управления мобильными машинами/ Г.В. Коровкин // Строительные и дорожные машины. -2003. - № 6. -С. 48-52.
6. Игнатищев Р.М. Зубчатые передачи. Как предсказывать и упреждать питтинг/ Р.М. Игнатищев, Ю.В. Машин. - Могилев: БРУ, 2004. - 68 с.
7. Новиков В.В. Исследование возможностей одноступенчатого ТО с полнокомплектным диагностированием / В.В. Новиков, А.П. Болдин // Проблемы управления техническим состоянием автомобилей: сб. научн. тр. / МАДИ. - М., 1982. - С. 62-64.
8. Методы технической диагностики: метод. указания / В.А. Голубков; под ред. А.В. Семенчука. - Санкт-Петербург: Изд-во: СПбГУАП, 2006. - 38 с.
9. Елисеев Ю.С. Деформация и погрешности в зацеплении и их роль в работе зубчатой передачи / Ю.С.Елисеев, И.П. Нежурин // Вестник машиностроения. -1999. - № 8. - С. 2-6.

**УДК 656.081**

## **СУЧАСНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ТРАНСПОРТІ**

*Меланченко Я.О., Коноплін Д.В., студенти  
Чуба В.В., к.т.н., доц.*



В наш час дослідженнями та експериментами з застосування електроприводів в галузях де раніше це було не доцільно займаються, лише компанії з великими статками та в рідких випадках науково дослідницькі установи ( як правило за умови відносно невеликих бюджетів у порівнянні з коштами що виділяють на подібні дослідження передові компанії на ринку ). Всі ці причини в комплексі призводять до комерціалізації результатів досліджень та браку доступної інформації. Хоча з урахуванням передових розробок в галузі електрообладнання та його управління. А саме паливні елементи на основі водню та акумулятори на рідкоземельних елементах , акумуляторні батареї які працюють поєднуючи в собі одразу 2 кардинально

різні принципи-технології , це супер конденсатори та класичні літій іонні батареї . Поєднуючи різні технології деякі компанії , наприклад ZapGo , засновником якого є Стівен Воллер , стверджують що знаходяться на шляху до створення безпечних акумуляторів які перевищують за показниками енергоємності передові літій іонні батареї в 10-15 разів , та мають ресурс циклів заряду-розряду у 30 тисяч разів.

З вище приведених доводів можна зробити висновок , час коли треба змінювати погляди на речі настав . І насамперед потрібно передивитися підхід до конструювання енергетичних засобів а також до можливостей підняття технологічного рівня комплексу енергетичних засобі. Їх мобільності універсальності екологічності та характеристик . Адже розробка тракторів на електроприводі є оправданою за рахунок використання новітніх розробок а саме батарей , електродвигунів та електроприводів . Часи коли електромобілі були габаритними , ненадійними , складними в експлуатації та ремонті закінчуються.

Застосування нових систем електро приводу та керування поширюються , та підвищують вимоги до подібних систем що працюють на викопному паливі . Наразі системи та технології що працюють на викопних енергоресурсах досягають свого технологічного максимуму в той же час електродвигуни , батареї , та системи їх керування відкривають нові горизонти можливостей та розвиваються щорічно.

При такому процесі не підготувати теоретичні та наукові можливості для застосування більш розвинених та прогресивних енергоприводів у сферах де їх не використовували раніше , було б дуже нерозсудливим. Це наразі стосується не тільки техніки що використовується у сільському господарстві а й техніки: у галузях будівництва, лісового комплексу , вантажних перевезень .

Остання на разі зараз переживає час великих реформацій та сміливих рішень. На дорогах інших країн вже можна бачити тягачі які працюють на електроприводі . В свою чергу техніку сільськогосподарської галузі яка б працювала на електроприводі можна побачити лише у вигляді моделей для досліджень можливості їх практичного використання але знову ж таки вся інформація по таким напрацюванням комерціалізована.

Зараз на наших очах технологія електроприводів досягла такого рівня розвитку що з виробничих ліній перекочувала на цивільні легкові , і не тільки , автомобілі . При цьому пройшовши шлях від застосування у вузлах та агрегатах

до використання в гібридному виконанні і на разі повне забезпечення несучої функції такого транспорту від електроприводу.

Це ж означає наявність прикладу по якому з певними особливостями наразі потрібно рухатися і іншим видам машин, техніки та засобів.

А забезпечити це просування до готових рішень та конструкцій може лише наукова спільнота в кооперації з потенційними виробниками та державною підтримкою.

### **Висновок**

Аналіз існуючих технологій застосування електроприводу показав відсутність ефективних технічних рішень для задоволення потреб сільськогосподарського виробництва, тому питання адаптації існуючих технічних рішень під аграрне виробництво є важливою як науковою так і технічною задачею.

**УДК 519.856(075.8)**

## **МЕТОД ЗОЗУЛИНОГО ПОШУКУ В ЗАДАЧАХ ЧИСЕЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

*Зарівний О.Ю., студент*

*Ромасевич Ю.О., д.т.н., доц.*

В задачах чисельної оптимізації зозулин пошук (Cuckoo search) – це алгоритм оптимізації, розроблений дослідниками Xin-she Yang і Suash Deb у 2009 році [1]. Їх робота була надихнута паразитиною поведінкою деяких видів зозуль при розмноженні: вони відкладають яйця в гнізда інших птахів-господарів (інших видів).

Деякі птахи-господарі можуть вступати в прямий конфлікт із зозулями. Наприклад, якщо птах-хазяїн виявить, що яйця не є його власними, він або викине чужі яйця, або просто покине своє гніздо та збудує нове в іншому місці. Деякі види зозуль, наприклад Тарега, еволюціонували таким чином, що самки зозулі спеціалізуються на копіюванні (за кольорами та малюнком) яєць деяких видів господарів-птахів.



Алгоритм зозулиного пошуку відповідає ідеалізації описаної поведінки розмноження. Він може бути застосований для різних задач оптимізації. У методі використовуються такі основні положення: кожне яйце в гнізді являє собою розв'язок (певне значення функції ціни), а яйце зозулі – новий розв'язок. В ході виконання алгоритму використовуються нові (і потенційно кращі) розв'язки (зозуль) для заміни не дуже гарних розв'язків в гніздах. У найпростішому вигляді кожне гніздо має одне яйце.

Зозулинний пошук заснований на трьох ідеалізованих правилах:

1. Кожна зозуля відкладає по одному яйці за один раз і відкладає своє яйце в довільно вибране гніздо;
2. Найкращі гнізда з високою якістю яєць переносяться в наступне покоління;
3. Кількість доступних гнізд господарів фіксується, і яйце, відкладене зозулею, виявляється птахом-господарем з певною вірогідністю, яка знаходиться в межах від 0 до 1. Визначення підкинутих яєць виконується в деяких гірших (у сенсі величини цільової функції) гніздах. Виявлені розв'язки у подальших розрахунках не використовуються.

Крім того, Xin-she Yang і Suash Deb виявили, що переміщення зозуль методом польтів Леві кращий за метод випадкового пошуку.

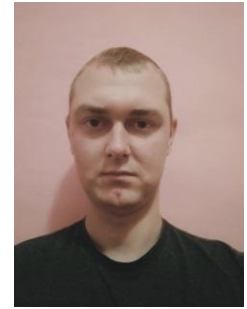
Важливою перевагою алгоритму зозулиного пошуку є його простота. Цей метод має лише один параметр (вірогідність виявлення яйця зозулі), який необхідно налаштувати.

В порівнянні з іншими метаевристичними методами це є суттєвою перевагою методу.

#### **Список використаних джерел**

1. X.-S. Yang; S. Deb (December 2009). Cuckoo search via Lévy flights. World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009). IEEE Publications. pp. 210–214. arXiv:1003.1594v1.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ВІДМОВ ТА  
ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
ГІДРОЦИЛІНДРІВ**



*Лугина С.А., студент*  
*Новицький А.В., к.т.н., доц.*

На сучасному етапі можна виділити декілька способів відновлення роботоздатності гідроциліндрів, які мають свої переваги та недоліки.

Найбільш широке застосування на ремонтних підприємствах набув спосіб ремонту заміною ремонтних комплектів (ущільнюючих кілець) на нові, а в випадку наявності дефектів на робочих поверхнях штоків для їх усунення застосовують напівавтоматичне наплавлення. Собівартість вказаного способу не перевищує 30% від вартості нового гідроциліндра, при цьому ресурс складає 30-60 % від доремонтного ресурсу [1]. Недоліками вказаного способу ремонту є висока температура нагрівання деталі, яка складає 350-450<sup>0</sup> та висока трудоемкість механічної обробки.

В багатьох інтернет-джерелах розглядається спосіб ремонту гідроциліндрів, який полягає в заміні зношених штоків та гільз на нові хромовані штоки та гільзи із хромованих труб необхідного діаметра та довжини. Штоки та труби для ремонту гідроциліндрів які виготовлені зі Сталь 35, Сталь 45, Сталь 40Х [2]. При цьому поверхня штока оброблена твердим хромом на глибину 20 мкм. Для штоків довжиною 600...1700 мм проводиться гартування струмами високої частоти. Ремонт вказаним способом забезпечує міжремонтний ресурс гідроциліндрів близьким до 80% доремонтного ресурсу.

Розрахунок собівартості ремонту гідроциліндрів С100/40х400 та С75/30х400 із врахуванням витрат на комплектуючі показав, що собівартість ремонту гідроциліндрів шляхом заміни деталей на нові складає 80% від вартості нового гідроциліндра.

Технологія відновлення штока гідроциліндра при ремонті дуже часто копіює технологію виготовлення, а відмінність полягає лише у введенні додаткових операцій зі збільшення діаметра та фінішних технологічних операцій підвищення зносостійкості.

Існує технологія відновлення, яка полягає в наплавленні штока гідроциліндра в середовищі вуглекислого газу порошковими проволками з наступним шліфуванням та хромуванням. Твердість покриття складає 50...58 HRC. Штоки відновлюються на збільшений діаметр, при цьому отвори передніх кришок розточують.

В роботі [2, 3] описано спосіб ремонту гідроциліндрів за допомогою встановлення додаткових деталей. Зношені отвори під шток в передній кришці відновлюють розточуванням, а після розточування запресованням бронзової або чавунної втулки. Після цього, втулки підганяють під розмір штока, витримавши при цьому зазор 0,02-0,15 мм.

Зовнішню поверхню штока відновлюють шліфуванням з хромуванням. Внутрішню поверхню гільзи циліндра – розточують під збільшений розмір, після чого хромують. При цьому поршень замінюється на новий, який виготовлений зі збільшеним діаметром циліндричної поверхні та кільцевої канавки під ущільнююче кільце. При цьому діаметр гільзи рекомендують збільшити не більше ніж на 320 мкм. Але доведено, що зі збільшенням діаметра ущільнювача зовнішньої поверхні знижується контактний тиск та виникає вірогідність його видавлення в утворений зазор. Найбільш оптимальним рішенням є розточування та хонінгування внутрішньої поверхні гільзи під номінальний розмір.

Існуюча технологія відновлення із заміною зношених деталей гідроагрегатів та нанесенням електродугового покриття – не знайшла свого застосування у зв'язку з нерівномірним розподілом твердості отриманих покриттів, що призводить до інтенсивного зносу та втрати роботоздатності.

В літературних джерелах описано спосіб відновлення гільз циліндрів шляхом нанесення полімерного покриття [3, 4]. Він базується на заповненні рідкою полімерною композицією з наступним її затвердінням, щільного зазору між покриваючою поверхнею формуючого елемента. Після затвердіння полімеру, слідує механічна обробка циліндра, яка проводиться для знімання фасок. Застосування вказаного методу забезпечує високу точність та чистоту внутрішніх поверхонь гідроциліндрів, високу продуктивність та економічність ремонту. Але при відновленні гільз даним способом полімерна композиція не завжди забезпечує потрібну стійкість до утворення подряпин та задирав.

## **Висновки**

Представлені способи відновлення деталей гідроциліндрів знайшли використання в ремонтному виробництві маючи певні переваги і недоліки.

### **Список використаних джерел**

1. Казакевич И. И. Исследование гидроцилиндров, прогнозирование их надежности и долговечности / И. И. Казакевич, Ю. В. Виноградов, В. И. Толока и др. // Вестник машиностроения. – 1982. - № 8. – С. 6 – 8.
2. Ремонт тракторных гидравлических систем / В. Е. Черкун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 253 с.
3. Чумаков П. В. Анализ методов оценки технического состояния гидроцилиндров / П. В. Чумаков // Энергоеффективность технологий и средств механизации в АПК: материалы Международ. науч-практ. конф. – Саранск, 2011. – С. 211-2017.
4. Поляченко А. В. Контактная правка перспективный метод восстановления и упрочнения деталей / А. В. Поляченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. - № 12. – С. 40 – 41.

**УДК 631.363.2**

## **АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДРОБАРКИ**

*Красновський О.П., студент*

*Ревенко Ю.І., к.т.н., доц.*

На сьогодні 90 % всіх технологічних ліній для приготування комбінованих кормів використовують молоткові дробарки як агрегат, що подрібнює складові інгредієнти. Дробарки такого типу найбільш повно задовольняють вимоги, що висувають зоотехнічні вимоги. Вони утворюють самостійну групу швидкісних машин ударної дії.

Досвід експлуатації молоткових дробарок встановив, що мінімальний ресурс серед всіх робочих органів дробарки мають молотки. За різними даними, ресурс молотка дробарки в середньому складає близько 300 год. наробітку (біля 600 тон подрібнених компонентів).

Ресурс же інших робочих органів в декілька разів більший. Таким чином, ресурсообмежуючим робочим органом молоткової дробарки є молоток.

При значному спрацюванні робочих граней молотка збільшуються енерговитрати та зменшується якість подрібнених компонентів. В такому випадку молоток перевертаю іншою граню або заманюють на новий.

Підвищення надійності молотка в поєднанні з нескладністю конструкції зроблять молоткову дробарку однією з найефективніших машин для подрібнення комбінованих кормів. Вищезазначене обумовлює проведення досліджень в цьому напрямку.

Враховуючи різноманітність та складність умов спрацювання робочої грані молотка при ударі не слід очікувати аналогії між закономірностями при прямому ударі та при проковзуванні частки по молотку.

Процес подрібнення досліджувався багатьма вченими. Проте, до цього часу, через різні погляди на процес подрібнення, немає загальної теорії взаємодії молотка з зерном. Відсутність такої теорії не дає змогу узагальненню експериментальних даних, що встановлюють взаємозв'язок між основними факторами, які визначають результат подрібнення та спрацювання робочих органів.

**УДК 621.436**

**ІСНЮЮЧІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ  
РОБОТОЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ  
ДВИГУНІВ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ**



*Ігнатовський В.Ю., студент*  
*Попик П.С., к.т.н., ст. викладач*

Система технічного обслуговування і ремонту паливної апаратури включає в себе наступні види: планове технічне обслуговування, ремонт та зберігання.

Планове технічне обслуговування форсунок зазвичай виконують в ремонтній майстерні або пункті технічного обслуговування на робочому місці,

оснащеному спеціальним обладнанням та інструментом. Форсунки очищають, промивають, перевіряють і регулюють при ТО-2, а пропускну здатність визначають при ТО-3.

Не підлягають технічному обслуговуванню і вибраковуються форсунки, що мають такі дефекти: тріщини і злами корпусу, вушка фланця, денця штифтового розпилювача, носика розпилювача, зазначені дефекти визначаються візуально.

Не підлягають технічному обслуговуванню і направляються в ремонт форсунки з наступними дефектами: порушення перпендикулярності ущільнюючого і внутрішнього торців корпусу форсунки і гайки розпилювача, зрив і зминання двох і більше витків різьби, сліди зносу ущільнюючого торця корпусу форсунки від удару голки розпилювача, збільшення ходу голки в зібраної форсунки більше технічних вимог.

При технічному обслуговуванні ТО-2 форсунки перевіряють за величиною тиску початку підйому голки, якості розпилювання палива і підтікання палива.

При ТО-3, одночасно зі зняттям паливного насоса для перевірки відповідно до рекомендацій, у форсунки, крім зазначених параметрів, перевіряють плавність переміщення голки розпилювача (порушення рухливості голки), щільність і герметичність форсунки в зборі. Рекомендується при ТО-3 очищати розпилювач від нагару і коксу за допомогою спеціальних чистиків і промивати потоком палива в спеціальному пристосуванні. При незначному порушенні рухливості голки допускається "оновлення" напрямних поверхні голки і корпусу запірних конусів та торцевих поверхонь спеціальною пастою. Якщо і після очищення, промивання та оновлення якості розпилювання буде незадовільною або буде підтікання палива в вигляді краплі і зволоження, розпилювач відправляють в ремонт.

Як впливає з наведеного огляду, при існуючому технічному обслуговуванні для відновлення якості розпилювання палива і рухливості голки розпилювача рекомендується проводити очистку, промивку та притирання ("оновлення") прецизійних поверхонь. При цьому за відсутності у деталей форсунки зносів можна досягти первинних параметрів впорскування згідно з рекомендаціями заводів виробників. При появі зносів на прецизійних ділянках розпилювача цими операціями найчастіше не вдається відновити необхідних параметрів і форсунку з розпилювачем відправляють в ремонт.

Таким чином, необхідні нові розробки, що дозволяють відновити якість розпилювання палива і рухливість голки розпилювача при ТО.

### **Список використаних джерел**

1. Топливная аппаратура автотракторных и комбайновых дизелей. Технические требования на капитальный ремонт. - М.: ГОСНИТИ. - 1989. - 286 с.
2. Файнлебб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Справочник. - Л.: Машиностроение, - 1990. - 345 с.
3. Астахов И.В., Голубков Л.Н., Трусов В.И. Топливные системы и экономичность дизелей. - М.: Машиностроение, 1990. - 238 с.

**УДК 621.08:62.77**

## **ЗМІЦНЮЮЧЕ ОБКАТУВАННЯ ТІЛ ОБЕРТАННЯ З КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРУЖЕНЬ**

*Дякевич В.М., Сиченко Ю.І., студенти,  
Новицький А.В., к.т.н., доц.*



При експлуатації техніки та обладнання сільськогосподарського виробництва деталі, що сприймають навантаження, такі як: вали редукторів, колінчасті вали, зубчасті колеса, тяги, хрестовина кардана, та інші, часто втрачають працездатність. Значні робочі зусилля за наявності перекосів сполучених деталей, часто призводять до виникнення тріщин, змінання, спотворенню їх форми, зміни розрахункових зазорів між деталями. В результаті цього скорочується довговічність роботи вузла і машини в цілому [1, 2].

Застосування термічних або хіміко-термічних методів зміцнення при виготовленні великих деталей обмежено їхніми габаритними розмірами і масою.

Найбільш простим і доступним, а часто і єдино можливим методом зміцнення таких деталей, є обробка поверхонь холодним пластичним деформуванням – обкатуванням роликками або чеканкою бойками. Для підвищення зносостійкості поверхневого шару застосовується чистове поверхнєве пластичне деформування, а з метою підвищення втомної та контактної міцності деталей – зміцнююча обробка.

Підвищенню втомної витривалості сприяють наступні параметри поверхневого шару: згладжена форма; твердість; дрібнодисперсна структура й стискаючі залишкові напруження. Вказані параметри поверхні досягаються при обробці поверхневим пластичним деформуванням.

Режим обкатування поверхонь подвійної кривизни вибирається на основі приведення радіусів ролика і деталі в площині подачі.

Простий спосіб зміцнення галтелей малого радіусу – обкатування роликом, профільний радіус якого дорівнює радіусу кривизни галтелі. При робочому зусиллі 60 кН вказаним способом можна ефективно обкатувати галтелі радіусом до 5 мм. Проте зусилля 60 кН велике і не завжди може бути допущено як по конструкції токарних верстатів, так і по жорсткості деталей, які обкатуються. Часто доводиться зустрічатися з необхідністю зміцнення галтелі великого радіусу, що створюють на валах великого діаметру високі концентратори напруги. Значне збільшення ступеня деформації і відповідно підвищення ефективності зміцнення можна досягти за рахунок зменшення розмірів робочих роликів.

Розглянемо особливості зміцненні валів з галтелями малого радіусу, у яких розвиток втомної тріщини часто починається з поверхні, збільшення ступеня зміцнення в зоні найбільшої концентрації напруги за рахунок зменшення діаметру роликів – один з шляхів підвищення ефективності обкатування. При цьому як деформуючі елементи використовують малі ролики або кульки без матеріальної осі обертання. Такі ролики не мають вбудованих підшипників, тому можуть мати малі діаметральні розміри.

#### **Список використаних джерел**

1. Бутаков Б. И. Оценка точности определения глубины наклепа при поверхностном пластическом деформировании. Вестник машиностроения. 1982. № 11. С. 22–24.
2. Исследование поверхностного слоя валов, упрочненных обкаткой роликами. В. М. Браславский, Б. И. Бутаков, Б. И. Гольдштейн и др. Пр-во крупных машин. Технология механической обработки и сборки. 1975. Вып. XXV. С. 162–170.



**ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ  
РОБОТОЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ  
ДВИГУНІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ**



*Ігнатовський В.Ю., студент,  
Попик П.С., к.т.н., ст. викладач*

В процесі експлуатації форсунок у розпилювачів зношуються направляючі і замикаючі поверхні корпусів і голок, а також розпилюючі отвори. Нагару піддаються всі розпилювачі, особливо в початковий період експлуатації. Деформації найчастіше схильні корпуси. Всі ці дефекти знижують потужність, підвищують питому витрату палива і призводять до передчасного виходу розпилювача з ладу.

Так як розпилювачі виходять з ладу з різних причин, то і способи їх відновлення теж можуть бути різні, а саме: очищення від нагару, перекомплектування з заміною однієї з деталей новою ремонтного розміру, гальванічні покриття та ін.

До недоліків, що виправляються у форсунок в умовах ремонтного виробництва відносяться: втрата герметичності, погане розпилювання палива, порушення рухливості голки або зависання голки, зменшення гідрощільності, збільшення ходу голки, зменшення ефективного прохідного перетину за рахунок коксування розпилюючих отворів.

До основних операцій при ремонті форсунок відносяться мийні та відновлювальні. Останні підрозділяються на відновлюючі розпилювач по направляючої (прецизійної частини) і конічних (замикаючих) поверхонь, а також відновлення ходу голки і ущільнюючої частини розпилювача. Мийні операції, що включають роботи з очищення коксових відкладень (нагару).

Після попереднього миття в дизельному паливі розпилювачі виварюються в розчині наступного складу: тринатрійфосфат - 40 г/л, каустична сода - 20 г/л, господарське мило - 40 г/л, рідке скло - 20 г/л. Виварювання проводиться протягом 3-4 годин при температурі 368-373° К.

Хороші результати дає застосування ультразвукової мийки. Іноді її поєднують з виварюванням, що дає більш якісне миття.

Остаточне видалення залишків нагару виконують з зовнішніх поверхонь латунними щітками, скребками. Внутрішні порожнини очищають за допомогою набору чистиків КИ-5319. Розпилюючі отвори прочищають за допомогою дроту (струни) або свердл відповідного діаметру.

Відновлення направляючої частини голки розпилювача проводиться для відновлення рухливості і гідрощільності.

Рухливість голки потребує відновлення при задирах спряжених поверхонь  $\varnothing$  6мм. Видалення слідів прихоплювання металу, подряпин, рисок виконується методом взаємного притирання голки і корпусу розпилювача.

Гідрощільність відновлюють методом перекомплектування, заміною однієї деталі на нову або нарощуванням шару металу. При перекомплектуванні розпилювачі розкомплектовуються і після цього знову збираються методом селективного складання.

Для відновлення голки розпилювача ( $\varnothing$  6 мм) застосовують хромування, хімічне нікелювання, борування, дифузійне хромування і титанування.

Хоча в літературі ці методи широко рекламуються, в ремонтному виробництві використовуються рідко. Це пояснюється великою трудомісткістю і енергоємністю процесу, викривленням, складністю подальшої обробки. Після відновлення розмірів одним з перерахованих методів деталі піддаються механічній обробці за технологією, що практично не відрізняється від застосовуваної на заводах-виробниках.

Тому відновлення розпилювачів цими способами не завжди виправдано як з економічної так і з технічної сторін. Немає сенсу відновлювати направляючу частину, якщо гідрощільність знаходиться в допустимих межах. Відомо, що ресурс відремонтованих розпилювачів в першу чергу визначається якістю кінцевого сполучення, і підвищення зносостійкості направляючої частини не означає підвищення його післяремонтного ресурсу.

Відновлення кінчної поверхні корпусу розпилювача можна проводити за допомогою притирання, а також шліфуванням на верстатах за технологією по якій виготовляють розпилювач. До недоліків цього способу відноситься те, що похибка базисної поверхні переноситься на поверхню конуса.

Відновлення заданої висоти підйому голки здійснюється зазвичай доведенням ущільнюючого торця корпусу розпилювача на доводочній плиті або плоскодоводних верстатах.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що технологічні процеси відновлення розпилювачів і форсунок в цілому, що застосовуються в даний час на ремонтних підприємствах, відрізняються високими витратами і складністю. Вони практично повторюють технології з виготовлення. Цим пояснюється той факт, що в даний час значно скоротився обсяг ремонтних робіт по відновленню паливної апаратури, в тому числі і форсунок.

#### **Список використаних джерел**

1. Кривенко П.М., Федосов И.М., Аверьянов В.Н. Ремонт дизелей сельхоз назначения. - М.: Агропромиздат. 1990 - 270 с
2. Файнлебб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Справочник. - Л.: Машиностроение, - 1990. - 345 с.
3. Астахов И.В., Голубков Л.Н., Трусов В.И. Топливные системы и экономичность дизелей. - М.: Машиностроение, 1990. - 238 с.

## ЗМІСТ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРА АКТИВНОЇ ПОЛИЦІ КОМБІНОВАНОГО КОРПУСУ ПЛУГА.....	3
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ ЛИВАРНИХ СТАЛЕЙ.....	5
ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДКОГО МЕТАЛУ НА ДЕНДРИТНУ СТРУКТУРУ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ.....	6
МОДЕЛЮВАННЯ ЛИВАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ.....	7
ВІДНОВЛЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ ВАЛІВ.....	9
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРА ВАЛА ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ ТРАКТОРІВ ХТЗ-17221.....	12
ОПТИМІЗАЦІЯ ДИСКРЕТНИХ МЕХАНІЗМІВ ПОДАЧІ ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ.....	16
ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЗІ ШПОНУ.....	18
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНІЗМУ ШПОНО-ПРОСІЧНОГО ВЕРСТАТА.....	20
ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ.....	21
ПОРІВНЯННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РУЛОННОЇ ПОКРІВЛІ З ПВХ МЕМБРАНИ І МАСТИКОВОЇ ПОКРІВЛІ НА ОСНОВІ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ДОДАВАННЯМ СИНТЕТИЧНОГО ЛАТЕКСУ СКС-65ГП.....	25
ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ.....	28
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА, ЗМЕНШЕННЯ ЙОГО СОБІВАРТОСТІ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПОСТНАПРУЖЕНИХ ПЛОСКИХ ПЕРЕКРИТТІВ.....	31

АНАЛІЗ-СПІВСТАВЛЕННЯ ТРЬОХ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОГОРОДЖУВАННЯ КОТЛОВАНУ РОЗТАШОВАНОГО НА ОПОЛЗНЕВОМУ СХИЛІ.....	34
АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ТА МЕТАЛЕВОГО КУПОЛУ. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ.....	37
АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ КРІПЛЕННЯ СТІН ГЛИБОКОГО КОТЛОВАНУ В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ.....	40
АНАЛІЗ ВПЛИВУ УМОВ ЗАКРІПЛЕННЯ СТРИЖНІВ ФЕРМИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЇЇ ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ.....	43
АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В БАЛОЧНІЙ ТА БЕЗБАЛОЧНІЙ ПЛИТІ ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ КРОЦІ КОЛОН 8 М...	46
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ КУПОЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	49
СПІВВІДНОШЕННЯ ЗУСИЛЬ ЩО ВИНИКАЮТЬ У ЯДРІ ЖОРСТКОСТІ БУДІВЛІ ПРИ РОЗРАХУНКАХ В ПК «ЛИРА» ТА ПК «МОНОМАХ».....	53
ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРУ І ФОРМИ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ СІТКИ НА ПАРАМЕТРИ НДС ПЕРЕРІЗІВ ПЛАСТИНЧАСТИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	57
ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ МОНОЛІТНОЇ БАГАТОПРОЛІТНОЇ БАЛКИ.....	60
ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЙ.....	64
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПОЗИТНИХ МОНОЛІТНИХ ПОКРИТТІВ БУДІВЛІ.....	67
ВИЗНАЧЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ШУМУ ТА РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВІД ШУМУ «СТІНА КВАРТИРИ – СХОДОВА КЛІТКА».....	69
АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА НОРМАМИ АСІ 318-02.....	70
ВИЗНАЧЕННЯ ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ІЗ ПОЗИЦІЙ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ.....	74

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ТРІЩИНАМИ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПРИ КРУЧЕННІ ЗІ ЗГИНОМ.....	78
ВИКОРИСТАННЯ НАНОБЕТОНУ В СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ.....	82
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ КОРЕНЕПЛОДУ З ҐРУНТУ ВІБРАЦІЙНИМ ВИКОПУВАЛЬНИМ ОРГАНОМ.....	84
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ, ЯКА ФРОНТАЛЬНО НАВІШЕНА НА КОЛІСНИЙ ТРАКТОР.....	88
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРІВ ВАЛМЕТ-8750.....	92
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО КОЛЕСА.....	94
АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ.....	98
СУЧАСНІ ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ТРАНСПОРТІ.....	102
МЕТОД ЗОЗУЛИНОГО ПОШУКУ В ЗАДАЧАХ ЧИСЕЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ .....	104
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ВІДМОВ ТА ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОЦИЛІНДРІВ.....	106
АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДРОБАРКИ.....	108
ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	109
ЗМІЦНЮЮЧЕ ОБКАТУВАННЯ ТІЛ ОБЕРТАННЯ З КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРУЖЕНЬ.....	111
ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ.....	113

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**«ВІСНИК СЛУХАЧІВ МАГІСТРАТУРИ  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ»**

*Відповідальний за випуск:*

*Ю.О. Ромасевич* – професор кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України.

*Верстка* – кафедра конструювання машин і обладнання НУБіП України.

*Адреса редколегії* – 03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12<sup>В</sup>, НУБіП України.

Матеріали тез друкуються у авторській редакції.

Тираж виготовлено з оригінал-макету замовника.

Підписано до друку 19.11.2019. Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 7,44.

© НУБіП України, 2019