

**Національний університет біоресурсів і  
природокористування України**

**Факультет конструювання та дизайну**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
77-Ї ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
СТУДЕНТСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «НАУКОВІ ЗДОБУТКИ  
СТУДЕНТІВ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ТЕХНІЧНИХ ТА  
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ:  
КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙН»**

**(18-19 квітня 2024 року)**

Київ-2024

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

Збірник тез доповідей 77-ї всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (18–19 квітня 2024 року) / Факультет конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2024. – 122 с.

Збірник тез рекомендовано до друку рішенням вченої ради факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України від 26.03.2024 р., протокол № 7.

В збірнику представлені тези доповідей студентів, що працюють над магістерськими і бакалаврськими кваліфікаційними роботами на кафедрах факультетів конструювання та дизайну і механіко-технологічного НУБіП України та інших провідних закладів вищої освіти, в яких розглядаються завершені етапи розробок у галузях машин і обладнання сільськогосподарського виробництва, промислового і цивільного будівництва, механізації сільського господарства, транспортних технологій і засобів у АПК, будівництва сільських територій, конструювання і надійності машин для сільського, лісового і водного господарств.

Редакційна колегія: Ружи́ло З.В. – голова, к.т.н., доц.; Афтанділя́нц Є.Г., д.т.н., проф.; Баку́лін А.Є., к.т.н., доц.; Булгако́в В.М., д.т.н., проф.; Лове́йкін В.С., д.т.н., проф.; Лопатько́ К.Г., д.т.н., проф.; Несвідо́мін А.В., к.т.н., доц.; Несвідо́мін В.М., д.т.н., проф.; Новицький А.В., к.т.н., доц.; Пилипа́ка С.Ф., д.т.н., проф.; Роговський І.Л., д.т.н., проф.; Чаусо́в М.Г., д.т.н., проф.; Яковенко І.А., д.т.н., проф.; Ромасевич Ю.О. – секретар, д.т.н., проф.

## ДЕФЕКТИ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

*Браніцька О.В. – студентка*

*Науковий керівник – Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У процесі виготовлення та експлуатації інструментів на їх поверхні можливе формування світлого або темного шару, завтовшки від 0,1-0,2 до 2-3 мм. Природа та властивості шарів залежить від умов утворення та складу сталі.

*Дефекти поверхні, що утворюються при виготовленні інструментів.* Дефекти можуть виникнути при шліфуванні, заточуванні, різанні та внаслідок знеуглерожування.

*Світлий шар після шліфування та заточування.* Поверхневий шар неправильно шліфованої сталі Р18 у зубі шевера показано на рис. 1. Видно зовнішній світлий шар, потім шар, що темнотравиться, і нижче - малотравлящая основна структура

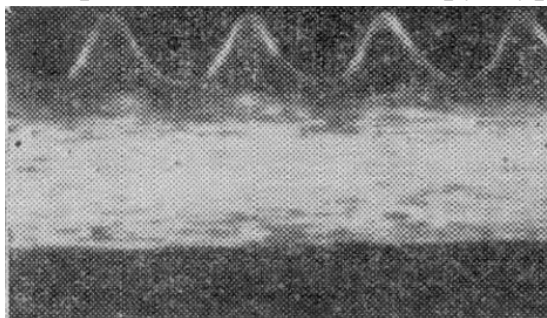


Рисунок 1 – Поверхневий шар неправильно шліфованої сталі Р18 у зубі шевера. X 300

Товщина шару від 0,1 до 0,2 мм. Шліфування або заточування мають значний тепловий вплив на поверхневий шар. Температура, що виникає на початку шліфування, досягає від 700-900 до 1000-1200 °С, при швидкості нагрівання від 5000-6000 до 10000 °С/с та охолодження поверхневого шару до 1000 °С/с.

Температура в процесі шліфування залежить від режиму шліфування та умов охолодження. У разі надмірного збільшення швидкості шліфування або товщини шару, що знімається за прохід, вона може бути вищою за температури фазового перетворення шліфованої сталі.

Температурна дія шліфування відбувається при підвищених тисках. Тому воно може змінювати структуру поверхневих шарів і створювати в них

значну напругу. Світлий зовнішній шар, що виникає при шліфуванні, має аустеніто-мартенситну структуру і є продуктом вторинного загартування.

Аустеніт, що утворився при швидкому нагріванні та великих тисках, характеризується:

1) високою стійкістю при охолодженні та підвищеною кількістю: до 60-70% у сталі з вихідною мартенситною структурою (Якщо загартована сталь була попередньо відпущена при вищій температурі 650-700 °С, то аустеніту зберігається менше) і до 30-40% у сталі з вихідною перлітною (сорбітною) структурою;

2) високою твердістю ( $HV \approx 1000$ ) внаслідок фазового наклепу при  $\alpha \rightarrow \gamma$  - перетворенні, оскільки при швидкому нагріванні не завершується рекристалізація аустеніту, спостерігається інтенсивне подрібнення блоків (до  $5 \cdot 10^{-6}$  см) та спотворення тонкої кристалічної структури;

3) зниженою стійкістю проти нагріву тому, що розпадається в не теплостійкій сталі при 100-200 °С, а і в теплостійкій при 450-500 °С.

*Зона, що темнотравиться*, під світлим шаром представляє дисперсну ферито-карбідну суміш, яка виникає в області меншого теплового впливу і є продуктом відпуску.

При інтенсивному шліфуванні товщина світлого шару не теплостійких сталей досягає 0,1 мм, а темного 1-2 мм. У швидкорізальних сталей і сталей, що містять від 4 до 18% Cr, товщина шарів менше і становить відповідно 0,03-0,05 і 0,2 мм.

*Розтягуючі напруги* на поверхні шліфованого шару виникають під дією локального нагріву та нерівномірної пластичної деформації і можуть викликати утворення шліфувальних тріщин.

Для попередження та виправлення цих дефектів необхідно:

- 1) вибирати теплостійкі та напівтеплостійкі сталі для інструментів;
- 2) дотримуватись оптимальних режимів шліфування;
- 3) застосовувати після шліфування відпуск та доводку, при яких видалається частина пошкодженого шару.

*Якість* шліфованого шару визначають мікроаналізом (краще на косих шліфах) та рентгеноструктурним аналізом – за кількістю аустеніту.

Шар, що темнотравиться, на поверхні (припали) виявляється травленням 10%-ним водним розчином азотної кислоти і вимірюванням твердості. Ділянки зниженої твердості з троосто-мартенситною структурою травляться інтенсивніше і виявляються у вигляді плям темно-коричневого кольору.

Світлий шар після різання виникає при фрезеруванні твердої сталі у разі затуплення ріжучої кромки (рис. 2). Твердість смуги знижується від поверхні до темного шару з HRC 63 до 55.

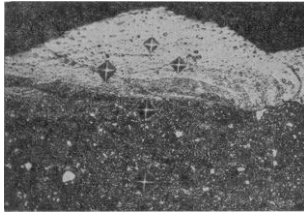


Рисунок 2 – Світла смуга у фрезерованій канавці сталі P12.  
x500

Світла смужка утворюється внаслідок високого нагріву і має глибину до 0,8 мм (мабуть через підвищений тиск). Високе нагрівання - наслідок різко підвищеного тертя, що викликається не зняттям стружки, а зминанням шару під ріжучими кромками інструменту (при недостатньо правильному налаштуванні верстата і виборі режиму різання).

*Світлий шар після термічної обробки* є результатом тривалого обезуглерожування, що призводить до утворення феритної структури, і може спостерігатися у великих штампах з теплостійких сталей, що містять 0,4-0,5% і піддавалися тривалому високому нагріванню для загартування в середовищах без достатнього захисту. Товщина шару 0,5-1 мм. Твердість від 20 до 25 HRC.

*Світлий шар, що утворюється в експлуатації*, виникає в робочій поверхні штамів гарячого деформування та форм лиття під тиском і має товщину від 2 до 3 мм та твердість від 600 до 1000 HV.

Відомі два механізми утворення світлого шару в експлуатації.

1. В результаті нагрівання поверхні вище температур фазових перетворень при підвищеному тиску. Для попередження необхідно вибирати штампіві сталі вищої теплостійкості та застосовувати інтенсивніше охолодження їх робочої поверхні.

2. В результаті взаємодії з графітним мастилом при високих температурах деформації, що призводить до підвищення вмісту вуглецю та твердості, а також крихкості. Він виникає у штампах та у формах лиття під тиском. Для попередження використовують нейтральні мастила (замість графітових), застосовують сталі з підвищеними температурами критичних точок, а для форм лиття корозійностійкі сталі. Для форм лиття ефективно дифузійне хромування.

*Темні шари, що сильно травляться*, мають трооститну або троосто-сорбітну структуру і більш низьку твердість (HRC 55-58 у швидкорізальних і HRC 40-50 у не теплостійких сталей) в порівнянні з отриманою після термічної обробки і зберігається в нижчих шарах. Ці ділянки - продукт відпустки внаслідок нижчої, ніж температури фазового перетворення нагріву; але достатнього, щоб викликати надмірно високу відпустку сталі.

*Темний шар, що виникає при шліфуванні*, утворюється у разі шліфування звичайними абразивами якщо процес виконується занадто інтенсивно або шліфуються сталі зі значною кількістю карбиду МС. Ці сталі необхідно

шліфувати кубічним нітридом бору або алмазами і дефект можна запобігти повністю.

*Темний шар, що виникає в експлуатації, може утворитися у штампах гарячого деформування і форм лиття під тиском. Твердість шару на 10-15 HRC нижче, ніж у основного металу. Цей шар утворюється в результаті коагуляції дисперсних частинок фаз-зміцнювачів та збіднення  $\alpha$ -фази.*

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНЕУГЛЕЦЬОВАНОГО ШАРУ**

*Дмитренко А.А. – студентка*

*Науковий керівник – Афтандіянц Є.Г., д.т.н., проф.*

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

Розмір і ступінь обезуглерожування стали визначають мікроструктурним аналізом, хімічним аналізом стружки, аналізом стійкості переохолодженого аустеніту в бейнітної області та зміною температури мартенситного перетворення, методом кольорового травлення та загартування стрічки, а також вимірюванням термічної електричної рушійної сили (т.е.р.с.).

1. *Мікроструктурний аналіз* дозволяє визначати обезуглерожений шар по всьому периметру заготовки чи інструменту. Товщина обезуглероженого шару однакова у сталі, обезуглероженої при термічній обробці і може бути різною на окремих ділянках прокату та поковок.

*Обезуглероживание доевтектоїдних сталей* визначають після відпалу травленням шліфу 2-4%-ним розчином азотної кислоти за загальною товщиною шару, що має феритну структуру (повне знеуглерожування) і знижену кількість перліту (часткове обезуглерожування).

*Обезуглероживание більш леггованих сталей, близьких до евтектоїдних (6ХС, 6ХВ2С та ін.), а також теплостійких штампових* виявляється таким же травленням після загартування і відпуску при 650-765 °С протягом 1 години.

*Обезуглерожений шар заевтектоїдної вуглецевої сталі* визначають після відпалу або високого відпуску по товщині шару з ділянками фериту та шару часткового знеуглерожування, збідненого карбідами.

Мікроструктурний аналіз використовують для визначення обезуглероживаючого впливу нагрівального середовища. Зразок шліфують з одного боку (подовжнього) для зняття можливого обезуглероженого шару.

Порівняння глибини обезуглерожування в шліфованій та нешліфованій частинах вкаже на знеуглерожування, що виникло при нагріванні, та загальну глибину обезуглероженого шару. Для цієї ж мети рекомендуються зразки із зубцем; знеуглерожування у вершині розвивається інтенсивніше, що підвищує точність випробування, особливо при необхідності нагрівання інструментів з гранями, що виступають.

2. *Хімічний аналіз стружки товщиною 0,05 мм, що знімається пошарово, дає більш точну оцінку, але метод — трудомісткий і не дозволяє виявити відмінності в обезуглерожуванні окремих ділянок по периметру.*

3. *Аналіз стійкості переохолодженого аустеніту в бейнітній ділянці.*

При обезуглероживанні легованих заевтектоїдних сталей, коли вміст вуглецю знижується до 0,3—0,5%, обезуглерожування мало визначається травленням, оскільки ці сталі мають знижений вміст вуглецю в перліті. Обезуглерожування таких сталей визначається зміною стійкості переохолодженого аустеніту в бейнітної області. При витримці зразка, що гартується, бейніт утворюється спочатку в ділянках, що мають менше вуглецю, тобто в обезуглероженому шарі. Швидке охолодження після витримки, що викликала розпад тільки в обезуглероженому шарі, фіксує в ньому дисперсну двофазну структуру, що травиться в темний колір, а в не обезуглероженому шарі - світлу мартенситну структуру, що погано травиться (рис. 1).

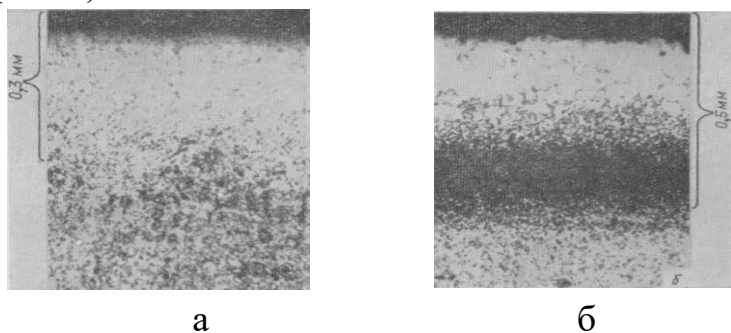


Рисунок 1 –  
Обезуглероджений шар  
сталі 9ХС після відпалу (а)  
та обробки з витримкою в  
області бейнітного  
перетворення (б)

Температури проміжного перетворення мало залежить від вмісту вуглецю. Температура нагрівання повинна бути на 20-30 град вище прийнятих для загартування, що збільшує вміст вуглецю в розчині, підвищує його стійкість у перлітній ділянці і дозволяє краще виявити обезуглерожений шар. Витримку в бейнітній ділянці встановлюють залежно від складу сталі (табл. 1).

Для отримання точних результатів слід застосовувати зразки невеликого перерізу (краще 10x10 мм) або окремі частини інструментів для того, щоб вони швидко приймали температуру охолоджуючої ванни.

Таблиця 1. Обробка для визначення обезуглероженного шару легованих заевтектійних сталей

Марка сталі	Температура, °С		Витримка в ванні для охолодження
	Нагрівання	Ванни для охолодження	
X	860—870	370—390	80—90
9XC	890—900	370—390	90—110
XBG	850-860	370—390	80-90
XBCG	870-890	370—400	100—120

4. Метод аналізу зміни температури мартенситного перетворення застосовують для ледебуритних сталей, який ґрунтується на тому, що аустеніт з меншим вмістом вуглецю має вищу температуру  $M_n$ . Зразок нагрівають протягом 2-3 хв у розкисленій ванні до верхньої межі температур гартування і переносять у соляну ванну, що має температуру трохи вище точки  $M_n$  даної сталі (для обраної температури гартування) і витримують від 5 до 10 хв. Охолодження до цієї температури викликає часткове мартенситне перетворення в обезуглецевому шарі, але зберігає аустенітну структуру серцевини. Після 5-10-хв. витримки зразок переносять у третю ванну з температурою підвищеної стійкості аустеніту (580-600 °С для швидкорізальних сталей і 520-540 °С для штампових сталей, витримують 10 хв і охолоджують на повітрі (табл. 2). Ця витримка зберігає аустенітну структуру в необезуглецевій частини, але викликає відпуск мартенситу, що утворився в обезуглецевому шарі при охолодженні у другій ванні.

Таблиця 2. Режим обробки для визначення обезуглецевих ледебуритних сталей

Марка сталі	Температура, °С	
	гартування	ванни для охолодження
Швидкорізальні сталі		
P18	1270—1290	175-195
P12	1240—1260	175—195
P9, P6M3, P6M5, P8M3	1220—1240	160—180
P12Ф3	1250—1260	200-215
P12Ф4К5	1240—1250	180—200
P8M3K6C, P9M4K8Ф, 10P8M3, 10P2M9K8, P9M3K6	1210—1220	150-165
P6M5Ф2K8, P6M5Ф3K10	1200—1210	180-200
Штампові сталі		
X12Ф1, X12M, X12BM, X12Ф4M	1050—1080	160—170
X6BФ, X6Ф4M	1090—1100	100—110



При подальшому охолодженні на повітрі мартенситне перетворення відбувається у серцевині зразка. Але відпущений мартенсит (або троостит) обезуглецевому шару травиться сильніше і здається у мікроскопі темним, тоді як не відпущений мартенсит решти зразка залишається світлішим; іноді у ньому видно межі зерен аустеніту (рис. 2).

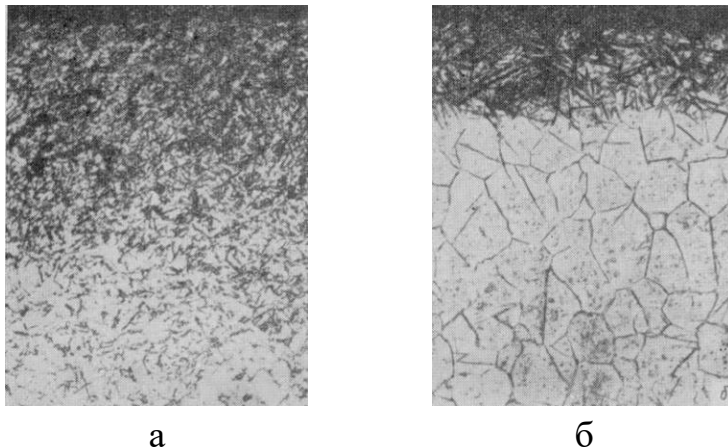


Рисунок 2 –  
Обезуглерожений шар  
сталей Х6ВФ (а) та Р9  
(б) визначений за  
режимами  
наведеними у табл. 2.  
а — х 100; б — х 300

5. *Метод кольорового травлення швидкорізальних сталей.* Зразок травлять 4%-ним розчином азотної кислоти в метиловому спирті до блакитно-зеленого кольору, швидко відмивають у чистому спирті та сушать у теплом повітряному потоці. Обезуглерожений шар має вигляд світло-коричневої зони, перехідний шар має блакитний колір, а основний метал (не обезуглерожена частина) має зелене забарвлення.

6. *Методом т.е.р.с. вимірюють відхилення т.е.р.с.* порівняно з еталонним зразком і використовують для визначення обезуглерожування в шліфованих стрічках або прутках (срібниці) і знеуглерожуючої дії соляних ванн, що застосовуються для нагрівання під загартування. Відхилення у показанні приладу вказує на те, що в сталі є обезуглерожений шар або ванна обезуглероживає і її необхідно розкислити.

7. *Метод загартування стрічки* використовують для визначення обезуглерожуючої дії соляної ванни. Безпечну бритву гартують з нагріванням та витримкою, прийнятими для інструментів. Потім бритву згинають. Поломка бритви - ознака того, що в ній зберігся високий вміст вуглецю і вона загартувалась, і що ванна не обезуглерожує. Якщо бритва зігнулася без поломки, це ознака втрати вуглецю в бритві через обезуглероживаючого впливу ванни.

8. *Вимірювання твердості* за Віккерсом двома навантаженнями: 5 і 50 г. Вимірювання малим навантаженням характеризують твердість поверхневого шару, а великий - твердість необезуглероджених шарів нижче. Для підвищення чутливості методу слід відпускати сталь при 250-300 ° С, після чого зростає відмінність у твердості ділянок з різним вмістом вуглецю. Метод

не застосовують для швидкорізальних сталей тому, що в їх обезуглероженному шарі можуть виділятися при відпустці вольфрамід, що підвищують твердість.

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## ОКИСНЕННЯ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ

*Пупін Я.Д. – студент*

*Науковий керівник – Афтандіянц Є.Г., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

При високих температурах нагрівання може відбуватися значне окиснення поверхні інструментальної сталі.

Окислення стали це утворення на поверхні наступних оксидів заліза:



Ступінь окиснення поверхні металу в процесі відпалу залежить від температури нагрівання, тривалості витримки та атмосфери печі.

Контрольована штучна атмосфера в термічних печах є радикальним способом усунення або зменшення цього дефекту. Нагрів у солях також сприяє зменшенню окиснення.

Зменшення окиснення з допомогою зміни атмосфери печі не завжди доцільно, оскільки застосування злегка відновлювального полум'я замість окислювального, пов'язано з підвищеною витратою палива.

Підігрів інструменту найбільше доцільно проводити в свинцевій ванні, а остаточне нагрівання — у печах з контрольованою атмосферою або в спеціальних ваннах з розплавленою сіллю хлористого барію.

Чутливість сталей до окислення поверхні залежить від хімічного складу та температури нагрівання при термічній обробці. Більшість штампових сталей має температуру гартування вище 820-880 ° С, тому необхідні заходи, що запобігають окисленню поверхні інструменту.

Нагрівання інструменту під загартування проводять в упаковці з чавунної стружки (попередньо очищеної від сторонніх домішок і прожареної) або відпрацьованого карбюратора. Найкращою упаковкою є чавунна стружка.

В окремих випадках нагрівання під загартування проводять у захисних атмосферах чи соляних ваннах.

Нагрів у соляних ваннах забезпечує в більшості випадків кращу якість поверхні, проте при термічному обробці штампів вони мають обмежене застосування за рахунок порівняно невеликого обсягу робочого простору ванн і, в ряді випадків, через невідповідність оптимальних температур гартування найбільш поширених марок сталей з робочими температурами ванн.

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

*Макаренко І.М. – студент*

*Науковий керівник – Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

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

Вимірювальний інструмент служить для перевірки розмірів деталей, що виготовляються. При вимірах поверхня інструменту безпосередньо стикається з поверхнею контрольованої деталі та зношується. Тому інструмент повинен бути твердим, зносостійким і зберігати форму та розміри при тривалій експлуатації. Зміна розмірів інструментів при роботі або його зберіганні може відбуватися за рахунок зменшення тетрагональності решітки мартенситу в результаті природного старіння, перетворення залишкового аустеніту на мартенсит, а також зі зменшенням внутрішніх напруг.

Тому остаточна термічна обробка вимірювального інструменту спрямована на стабілізацію напруженого стану мартенситу та залишкового аустеніту, що досягається застосуванням тривалої низькотемпературної відпустки із застосуванням обробки холодом.

Основним легуючим елементом у сталях для вимірювального інструменту є хром (Х, ХВГ, 12Х1, ШХ15, Х12М, Х12ВМ), який збільшує загартованість і прогартованість сталей, утворює карбіди, а при вмісті 12% і більше сталі стають корозійностійкими.

*Попередня термічна обробка заготовок для вимірювального інструменту (відпал, нормалізація, поліпшення та високий відпуск)* виконується з метою виправлення дефектів структури (велике зерно, цементитна сітка, пластинчастий перліт), зниження твердості після кування, штампування, накатки.

Для заевтектоїдних сталей рекомендується неповний відпал з нагріванням вище за температуру критичної точки  $A_{c1}$  і наступним регламентованим охолодженням зі швидкістю  $\sim 50$  °С/год або ізотермічною витримкою при 650-680 °С.

Високий відпуск проводять для зняття внутрішніх напруг після обробки на металорізальних верстатах та обробки тиском. Нормалізацію застосовують для виправлення структури перегрітої сталі та усунення цементної сітки.

З метою зменшення деформації інструменту, при гартуванні на мартенсит заготовки після попередньої механічної обробки піддають поліпшенню - гартування у воді (вуглецеві сталі) або маслі (леговані сталі) з подальшим високим відпуском при 650-700 °С. Після поліпшення структура сталей є зернистий сорбіт, який є більш сприятливою структурою при гартуванні, ніж пластинчастий перліт.

Остаточна термічна обробка виробів з структурою зернистого сорбіту дозволяє отримати інструмент з меншою деформацією. Структура сорбіту забезпечує також малу шорсткість поверхні після обробки різанням. Після попередньої термічної обробки інструмент проходить остаточну механічну обробку з припуском на шліфування.

*Остаточна термічна обробка* вимірювального інструменту забезпечує отримання необхідних властивостей та структури. Гартування забезпечує високу твердість і стійкість у процесі експлуатації.

Оптимальною структурою є дрібногolkовий мартенсит з рівномірно розподіленими дисперсними включеннями карбідів. Найбільш широко при нагріванні під загартування використовують нагрівання в соляних печах-ваннах і нагрівання струмами високої частоти.

Для зменшення деформації, що виникає при гартуванні, рекомендується застосовувати для високолегованих сталей X12M і X12BM, що мають низьку теплопровідність, ступінчасте нагрівання при температурах близько 600-700 °С. Охолодження в гарячих середовищах при 150-180 °С знижує деформацію і дозволяє отримати більш високі значення механічних властивостей за відсутності тріщин.

Вимірювальний інструмент підвищеної точності та зносостійкості (висока твердість) доцільно обробляти холодом при температурах (-50)-(-70)

°С. Оптимальні режими остаточної термічної обробки сталі представлені у табл. 1.

Обробка холодом підвищує твердість і стабілізує розміри внаслідок перетворення залишкового аустеніту на мартенсит.

Режим відпуску визначається призначенням інструменту, необхідної твердістю та маркою сталі. Відпуск рекомендується проводити в рідких середовищах (масло, селітра, луѓи) безпосередньо після загартування або обробки холодом, щоб уникнути утворення тріщин та стабілізації аустеніту. Відпуск інструменту зниженого класу точності проводять при більш високих температурах (близьких до верхньої межі температур) протягом 2-3 год, а високих класів точності при знижених температурах з тривалою витримкою протягом 10-24 год.

Таблиця 1. Режими остаточної термічної обробки інструментальних сталей

Марка сталі	Гартування			Температура обробки холодом, °С	Відпуск	
	t, °С	Середовище охолодження	HRC		t, °С	HRC
X	850-860	Масло	62-63	-70	120-130	65-66
12X1	855-870	Масло	63-65	-70	120-130	65-66
XBG	820-830	Масло	62-64	-70	120-130	64-66
ШХ15	830-850	Масло	62-64	-70	120-140	63-65
У10А-У13А	770-790	Вода	63-65	-50	120-130	64-66
X12	1000-1030	Масло	63-65	-70	190-210	62-65
X12M	1000-1030	Масло	63-65	-70	180-200	62-65

При загартуванні вимірювальних плиток із сталей X і 12X1 їх охолоджують у гарячій олії за нормальної температури 40-60 °С. При такому охолодженні (ступінчасте гартування) у структурі фіксується підвищена кількість залишкового аустеніту (~30%), що знижує стабільність розмірів. Через 15-20 хв після гартування проводиться обробка холодом при мінус 70 °С, потім виконується відпуск. Параметри відпуску: температура 120-130 °С, час 24-36 год при товщині плиток 15-20 мм та 38-48 год для великих розмірів.

Однак відпустк при зазначених параметрах не знижує кількість залишкового аустеніту. Аустеніт при роботі або зберіганні інструменту частково перетворюється на мартенсит, викликаючи приріст довжини. Тому інструменти високої точності, у тому числі плитки довжиною понад 50 мм, піддають багаторазовій обробці холодом.

Після охолодження до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  їх відпускають при  $120\text{-}125\text{ }^{\circ}\text{C}$  з витримкою 2-3 год і знову обробляють холодом ( $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і відпускають при  $120\text{-}125\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 2-3 год.

Ці операції повторюють 2- 3 рази. У зарубіжній літературі рекомендується таку обробку повторювати до 6 разів. Після першої обробки холодом кількість залишкового аустеніту становить  $\sim 15\%$ , проте при кожному наступному охолодження нижче  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  перетворюється дедалі менша кількість аустеніту. Тому навіть багаторазова обробка холодом не дозволяє повністю усунути із структури залишковий аустеніт та його кількість становить 2-5 %.

Вимірювальний інструмент, що виготовляється з цементованих сталей 15, 20, 15X, 20X, насичують вуглецем на глибину 0,3-1,5 мм (залежно від товщини виробу). Відношення товщини нецементованої зони до цементованої має бути не менше ніж 2.

Цементацию проводять при температурі  $900\text{-}930\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після цього виконують загартування при  $790\text{-}810\text{ }^{\circ}\text{C}$  в маслі для легованих сталей або у воді для вуглецевих. Для поліпшення структури серцевини рекомендується подвійне гартування: перше від  $850\text{-}880\text{ }^{\circ}\text{C}$ , друге від  $780\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для зменшення кількості залишкового аустеніту в цементованому шарі сталь слід обробляти холодом при  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відпуск цементованого вимірювального інструменту проводять при  $150\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 1-2 год. Виправлення деформації та короблення, що утворюються при цементациї та загартуванні, усувають при шліфуванні або редагуванням, після яких обов'язковим є відпуск для зняття напруги.

Кінцевою операцією при виробництві інструменту є шліфування, яке підвищує рівень залишкової напруги. Тому після шліфування проводять відпуск для зняття шліфувальних напруг при  $100\text{-}120\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 1-2 год.

Відпуск рекомендується виконувати в киплячому маслі, яке адсорбується поверхнею, покращує змащування, зчеплення і частково захищає сталь від корозії. Після відпуску виконується чистове шліфування та полірування.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНОГО ІНСТРУМЕНТА

*Шпаченко А.В. – студентка*  
*Науковий керівник – Афтандіяніц Є.Г., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Зварний інструмент більш технологічний під час встановлення та монтажу у верстатах. Кріпильна (хвостова) частина інструменту повинна мати твердість HRC 35-50 в залежності від призначення та матеріалу інструменту. Інструменти з вуглецевих та легованих сталей, а також короткий інструмент із швидкорізальних сталей виготовляють цілісним. При цьому хвостовики додатково відпускають місцевим нагріванням до температури  $\sim 600$  °С протягом 5-10 хв. У великогабаритного інструменту робочу та кріпильну частини піддають роздільній термічній обробці (гартування та відпуск). Обробку хвостової частини можна проводити до або після термічної обробки різальної частини. Збірний інструмент, що складається з робочої та кріпильної частини, з'єднують зварюванням. При нагріванні до температури 1050-1100 °С в зоні зварного шву утворюється мартенситна структура, яка схильна до утворення тріщин при охолодженні. Тому зварні заготовки відразу після зварювання поміщають у піч, нагріту до 730-760 °С і відпалюють за режимом: нагрівання до 820-850 °С, охолодження до 730-760 °С зі швидкістю 30-40 °С/год, витримка 3- 4 год та подальше охолодження на повітрі. При виконанні остаточної термічної обробки робочу та кріпильну частину інструменту нагрівають у соляних ваннах так, щоб зварний шов виступав над рівнем солі на 10-12 мм. Параметри обробки кріпильної частини вибираються в залежності від марки сталі, при цьому час нагрівання під загартування в соляних ваннах не повинен перевищувати 4-5 хв. Для вуглецевих сталей (45, 50) охолодження при загартуванні проводиться у воді, а для легованих (45Х, 50 Х, 50ХФА) – в олії або розплаві солей за температури 160-180 °С. Температура відпуску 400-450 °С, що нижче за температури відпуску робочої частини. Частину зварного шва зі швидкорізальних сталей нагрівають до нижчої температури, ніж робочу і отримують твердість в межах HRC 50-56, що створює плавний перехід у зміні твердості. Зварювальні інструменти не слід обробляти холодом, тому що при цьому посилюється небезпека утворення тріщин.

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ

*Новікова В.А. – студентка*

*Науковий керівник – Афтандіянц Є.Г., д.т.н., проф.*

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

Штампові інструменти нагрівають під загартування в соляних електродних ваннах або електричних камерних (газових) печах. Дрібні інструменти діаметром або стороною квадрата до 100 мм та довжиною до 300 мм. доцільно нагрівати у ваннах, що звільняє від необхідності захисту робочих частин від окислення та обезуглерожування та є найбільш економічним. Ефективний захист від обезуглерожування при нагріванні у ваннах забезпечується застосуванням фтористого магнію ( $MgF_2$ ) у кількості 2-3% або бури ( $Na_2B_4O_7$ ) до 4-5% від маси розплавленої солі. Розкислення ванн проводять зазвичай не рідше одного разу на зміну.

При нагріванні інструментів у камерних печах дуже важливою є захист від окислення, обезуглерожування та науглерожування робочих поверхонь. Рекомендується застосовувати такі пакувальні матеріали:

а) для сталей з температурою гартування до  $900^\circ C$  - подрібнене, просіяне та просушене вугілля деревени, а також відпрацьоване, при температурах не нижче  $930-950^\circ C$ , карбюризатор або суміш свіжої та перепаленої чавунної стружки (не допускається наявність олій та кольорової стружки) );

б) для сталей з температурою гартування вище  $900-950^\circ C$  - папір (два-три шари) і сухе вугілля деревени, а також карбюризатор, попередньо відпрацьований при температурі, що перевищує на  $50-60^\circ C$  температуру гартування.

Внаслідок зниженої теплопровідності штампових сталей рекомендується одно-або двоступінчастий підігрів, температуру якого вибирають в залежності від марки сталі та конструкції інструментів і яка для останнього підігріву становить  $700-850^\circ C$ .

Тривалість витримки при температурах аустенізації встановлюють з урахуванням повного прогрівання інструментів та розчинення вуглецю та легуючих елементів, яке може бути переведено в аустеніт за умов нагрівання. Коротка витримка не забезпечує достатньої прогартованості та теплостійкості, а зайва тривала витримка викликає зростання зерна та обезуглерожування. Для високолегованих сталей, які містять важкорозчинні карбіди (типу  $M_6C$ ,  $MC$ ),



тривалість витримки більша, ніж для низьколегованих сталей (з карбідами типу  $M_3C$ ,  $M_7C_3$  і  $M_{23}C_6$ ).

Час витримки при нагріванні в соляних ваннах вибирають із наступного розрахунку:

а) 18-24 с на 1 мм товщини (діаметра) інструменту при підігріві в інтервалі 700-850 °С і при остаточному нагріванні в інтервалі 800-900 °С;

б) при нагріванні до 1000-1150 °С для сталей із сумарним вмістом вольфраму, молібдену та ванадію до 1,5; 3; 3,5% і більше - 15, 20-30 і 30-50 с на 1 мм товщини (діаметра) інструменту відповідно.

При нагріванні в камерних печах час прогрівання упаковки та витримки у печі можна приймати з розрахунку 50-70 с на 1 мм товщини (діаметра).

Охолодження після аустенітизації залежно від марки сталі та форми інструментів проводять у маслі, воді, водних розчинах солей або лугів, на повітрі та в розплавах солей. Для попередження утворення тріщин гартування і зниження короблення для інструментів складної конфігурації та з великими перепадами перерізів рекомендується застосовувати ступінчасте або ізотермічне гартування.

У першому випадку інструмент охолоджують у гарячих середовищах з температурою, близькою до температури  $M_n$ , а потім на повітрі. Це уповільнює охолодження в інтервалі мартенситного перетворення, зменшує напруження, деформацію та небезпеку утворення тріщин. Структура загартованої сталі не відрізняється від одержуваної при безперервному загартуванні. Ступінчасте загартування ефективно для заєвтектоїдних легованих сталей (Х, ХВГ, ХВСГ та ін), що відрізняються високим об'ємним ефектом мартенситного перетворення. Температура гарячих середовищ становить 160-180 °С.

Ізотермічне (неповне) гартування забезпечує отримання високої твердості і включає витримку при температурах вище температури  $M_n$  на 10-20 °С і подальше охолодження на повітрі. Це призводить до зменшення деформації, підвищення міцності і в'язкості внаслідок вирівнювання температури, самовідпуску мартенситу, що утворюється, а також збереження великих кількостей залишкового аустеніту. Неповне ізотермічне гартування раціональне для штампів складної форми холодного деформування з заєвтектоїдних легованих (9ХС, Х, ХВСГ та ін.), високохромистих (Х12, Х12М, Х6ВФ) та комплекснолегованих високоміцних (6Х3В3МФС, 8Х4В2С2). Наприклад, неповна ізотермічне гартування інструментів з високохромистих сталей з витримкою 20-40 хв у солі при 280-320 °С і подальшим охолодженням на повітрі збільшує кількість залишкового

аустеніту (без зростання зерна) на 3-5% і, як наслідок, покращує їх в'язкість на 20-30% (без зниження твердості) і суттєво зменшує деформацію (короблення).

Повна ізотермічне гартування застосовується у разі отримання твердості порядку 45-55 HRC і доцільна для деревообробних інструментів зі сталей 9ХС, 9ХФ, 9Х5ВФ. (HRC 52-55), а також ударних інструментів зі сталей 6ХВ2С, 6ХЗФС, 7ХЗ (HRC 45-52). Структура сталі - бейніт та залишковий аустеніт. В'язкість при цьому зростає вдвічі в порівнянні з одержуваної при охолодженні в олії.

Ізотермічне гартування (повне або неповне) менш придатне для штампів гарячого деформування (особливо великих) з вторинно-твердіючих сталей, оскільки частковий (або повний) розпад переохолодженого аустеніту в проміжній області сильно знижує їх в'язкість. Доцільніше виконувати гартування таких інструментів за наступним режимом: швидке охолодження від температури аустенітизації 450-550 °С (область найбільшої стійкості аустеніту) з витримкою до повного вирівнювання температури по перерізу і подальшим охолодженням в маслі, що значно зменшує напруги і короблення без помітного зниження в'язкості сталі.

Для зменшення деформованості інструментів складної конфігурації ефективно застосування перед аустенітизацією високого відпуску або попередньої термічної обробки, що включає гартування з міжкритичної області ( $A_{c1} + (50-70) \text{ °C}$ ) і подальший високий відпуск при 600-650 °С.

Відпуск інструментів проводять у камерних електричних печах або низькотемпературних печах – ваннах із розплавами солей. Витримку при відпуску вибирають із розрахунку 100-150 с на 1 мм товщини (діаметра інструменту), але не менше 1,5-2 год.

Охолодження після відпуску на повітрі. При проведенні термічної обробки інструментів із вториннотвердіючих штампових сталей для холодного деформування виконують трьох-чотирьох кратний відпустку тривалістю 1,0-1,5 год кожен для повнішого розпаду залишкового аустеніту.

Контроль якості термічної обробки інструментів здійснюють зовнішнім оглядом (виявленням загартованих тріщин, оплавлених ділянок та інших поверхневих дефектів), а також перевіряють твердість та короблення. У штампових інструментів з високолегованих і середньолегованих сталей, що піддаються гартуванню від високих температур, необхідно контролювати наявність і глибину обезвуглецевого (або навуглецевого) шару і величину аустеніту зерна після гарту. Для цього разом із партією інструментів гартують спеціальні зразки — свідки.

Справжнє зерно аустеніту в штампових сталях виявляють хімічним або електролітичним травленням мікрошліфів, отриманих на зразках-свідках, охолоджених на повітрі.

У першому випадку використовують 4-10%-ний спиртовий розчин азотної кислоти або 4%-ний спиртовий розчин пікринової кислоти; у другому випадку - 10%-ний водний розчин щавлевої кислоти при щільності струму 0,5-1,5 А/см<sup>2</sup> і напрузі 25-30 В. Кращі результати досягаються при комбінованому травленні (хімічне + електролітичне) з кількома переполіровками. Однак перелічені способи мають загальний недолік: нечіткість виявлення меж через одночасного витравлення основної структури та нестабільність у різних плавках однієї і тієї ж сталі.

Більш надійне виявлення зерна аустеніту в штампових сталях евтектоїдного (або близького до нього) і заевтектоїдного класів з температурою гартування вище 900 °С досягається при використанні наступної методики. Зразок-свідок після аустенітизації переносять у піч або соляну ванну з температурою, що дорівнює  $A_{F3} + (15-20) \text{ } ^\circ\text{C}$ , витримують протягом 20-40 хв, а потім прискорено охолоджують в олії або воді.

При такій ізотермічній витримці з аустеніту, пересиченого вуглецем і легуючими елементами, виділяються карбіди, які розташовуються переважно за межами зерен, декоруючи їх. Подальше хімічне травлення шліфа в 4-10%-ном спиртовому розчині азотної кислоти забезпечує виявлення меж зерен. Внаслідок великої дисперсності структури штампових сталей номер аустенітного зерна краще визначати при 400 або 500-кратному збільшенні.

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **PELLET MANUFACTURE (Виготовлення окатишів)**

*Заверуха О.Б. – студент*

*Науковий керівник – Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Raw materials preparation:* The first step in pellet manufacture is preparing the raw materials. This can include sourcing and grinding wood or other biomass into small particles, as well as mixing in binders or additives as needed.

*Pelletizing*: The prepared raw materials are then fed into a pellet mill (fig. 1), which compresses and shapes them into small cylindrical pellets. The pellets are typically 6-8 mm in diameter and can range in length from a few millimeters up to several centimeters.



Figure 1 – The pellet mill

*Cooling and drying*: After the pellets are formed, they are cooled and dried to reduce their moisture content. This is typically done using a specialized cooling and drying machine (fig. 2).

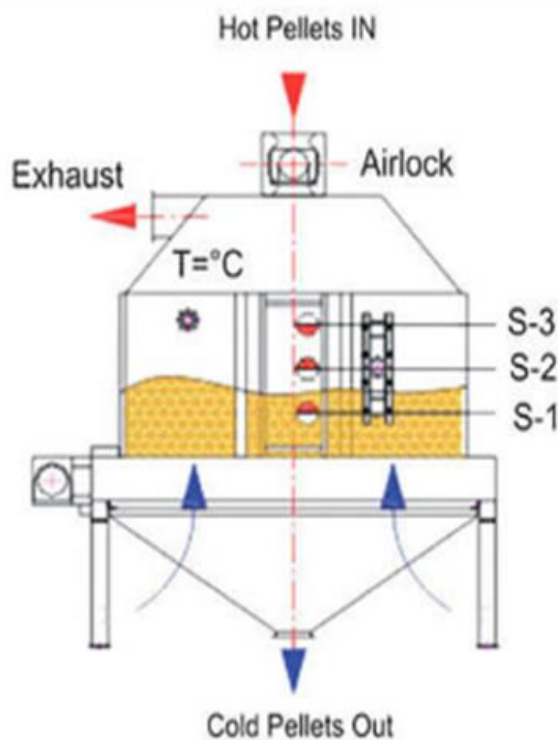


Figure 2 – The specialized cooling and drying machine

*Screening and sorting:* Once the pellets are cooled and dried, they are screened to remove any fines or small particles that may have been generated during the pelletizing process. The pellets are also sorted by size and density to ensure consistency.

*Final procedure:* Packaging and storage: The final step in pellet manufacture is packaging the pellets in bags or other containers for shipping and storage. The pellets are typically stored in a dry, cool place to ensure their quality is maintained.

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **THE NEUTRAL REFRACTORY MATERIALS**

*Білецький М.П. – студент*

*Науковий керівник – Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

### ***National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine***

The Refractory Materials are materials that are able to retain their physical and chemical properties at high temperatures and high pressure. These materials are used in the production of refractory structures that are used in industry where high temperatures are present.

There are three types of Refractory Materials:

- Acidic Refractory Materials are materials that have a high content of silicon and acidic elements such as aluminum and boron;
  - Basic Refractory Materials are materials that have a high content of basic elements such as calcium and magnesium;
  - Neutral Refractory Materials are materials that do not have acidic or basic properties.

Neutral refractory materials are a type of refractory material that are chemically stable and do not react with either acidic or basic slags or gases. Here are some interesting facts about neutral refractory materials:

Neutral refractory materials have a high melting point and can withstand very high temperatures.

They are commonly used in industrial furnaces, kilns, and incinerators because of their ability to resist chemical attack and erosion.

Neutral refractory materials are made from a variety of materials including alumina, chromite, carbon, and silicon carbide.

Alumina-based neutral refractory materials are particularly resistant to high temperatures and are used in applications such as glass production, steelmaking, and ceramic production.

Chromite-based neutral refractory materials are used in the production of copper, nickel, and platinum group metals because of their resistance to molten metal.

Carbon-based neutral refractory materials are used in applications where the material must be able to withstand high temperatures and corrosive environments, such as in the production of cement and lime.

Silicon carbide-based neutral refractory materials are particularly useful in high-temperature applications because they have excellent thermal shock resistance and can withstand sudden changes in temperature.

Neutral refractory materials are classified based on their chemical composition and are rated based on their ability to withstand certain levels of temperature, chemical attack, and erosion.

The development of new materials and manufacturing processes is driving innovation in the field of neutral refractory materials, making them more effective and efficient in a variety of industrial applications.

Neutral refractory materials are used in high-temperature applications such as furnaces, kilns, incinerators, and reactors. Some common examples of neutral refractory materials include:

1. **Chromite:** Chromite is a mineral that contains chromium and iron oxide. It is a refractory material with excellent resistance to thermal shock and high temperatures. It is commonly used in the production of refractory bricks for high-temperature applications.

2. **Alumina:** Alumina is a compound made up of aluminum and oxygen. It is a common refractory material due to its high melting point, high hardness, and excellent resistance to chemical attack. It is used in the production of refractory bricks, crucibles, and other high-temperature applications.

3. **Carbon:** Carbon is a naturally occurring element that is commonly used as a refractory material due to its high thermal conductivity, high strength, and high resistance to thermal shock. It is used in the production of electrodes, furnace linings, and other high-temperature applications.

4. **Silicon Carbide:** Silicon carbide is a compound made up of silicon and carbon. It is a refractory material with excellent thermal shock resistance and high thermal conductivity. It is used in the production of refractory bricks, kiln furniture, and other high-temperature applications.

5. **Zirconia:** Zirconia is a compound made up of zirconium and oxygen. It is a refractory material with high thermal shock resistance and high mechanical strength.

It is commonly used in the production of refractory bricks, crucibles, and other high-temperature applications.

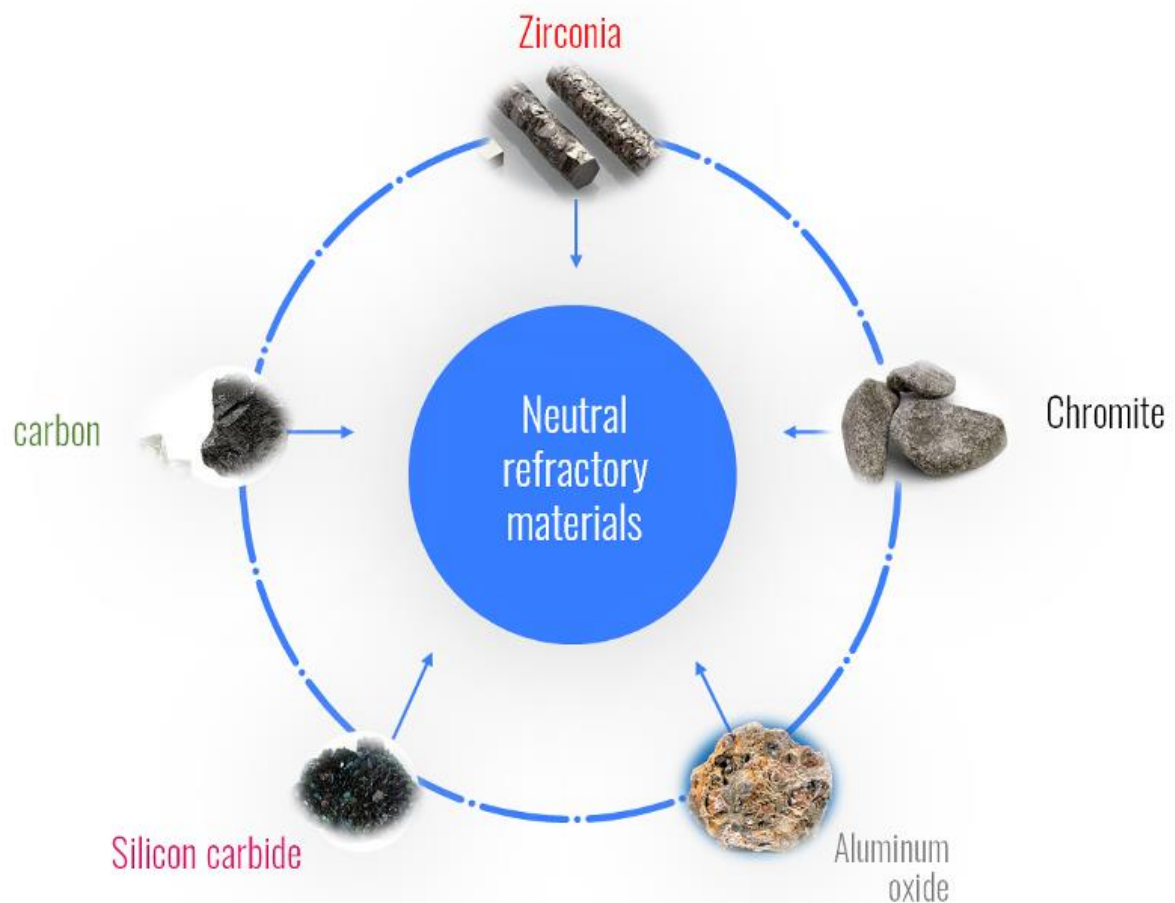


Figure 1 – Neutral refractory materials

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **THE WELD DEFECTS AND METHOD OF THEIR CONTROL**

*Скобель І.Ю. – студент*

*Науковий керівник – Афтандіяніч Є.Г., д.т.н., проф.*

***National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine***

*The Common defects.* Any experienced welder will tell you that there are numerous types of weld defects. They can be divided into two categories: external and internal. External weld defects can be detected directly on the weld surface using a special tool (e.g., a magnifying glass) or good eyesight. Internal weld defects are not visually visible and require special quality control techniques to detect (fig. 1). We'll talk about them closer to the end.

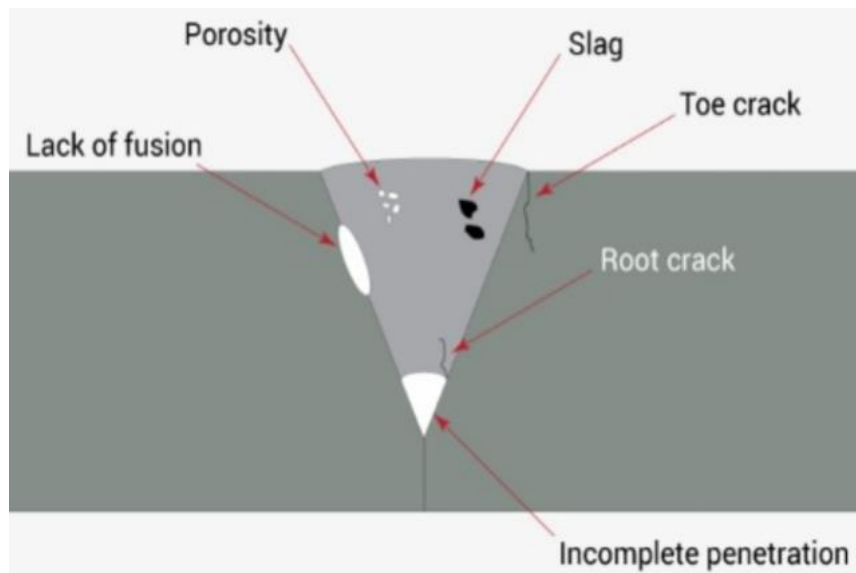


Figure 1 – The Common defects

*Burning (fig. 2 a).* A weld burn is a through-hole in a welded joint that you can detect with the naked eye. Burn-throughs are caused by slow welding. Too much temperature is concentrated in one place and the metal melts more than it should. The main danger of burns is a significant reduction in weld strength.

*Crater (fig. 2 b).* A crater is a small funnel located directly on the seam roller. Most often at the very end of it. It is formed due to an abrupt break in the arc. Drive the arc smoothly and finish welding gradually. If your welding machine has a special mode to prevent cratering, turn it on.

*Undercut (fig. 2 c).* If you've ever welded a tack or lap seam, you've probably noticed small indentations along the sides of the welded roll. These are the undercuts. A common cause of undercuts is too fast welding or incorrectly selected arc voltage. Undercuts also sometimes occur when the arc is too long.

*Porosity (fig. 2 d).* Pores (and most often pores) are small depressions in the structure of the seam. They can be superficial or internal. Imagine an anthill that is pierced by multiple passages. The same thing happens with the seam. Pores are undoubtedly the most common defect of all.

*Cracks (fig. 2 e).* For butt welds – is excess weld metal above the height of the parent metal or excess weld metal protruding through the root side of a weld made from one side of the joint. For fillets – is excess weld metal above the specified fillet size including throat.

*Over-Roll (fig. 2 f).* It is weld metal at the toe of the weld that covers the parent metal surface but has not fused to it. Generally caused by slow travel speed and wrong torch angle.



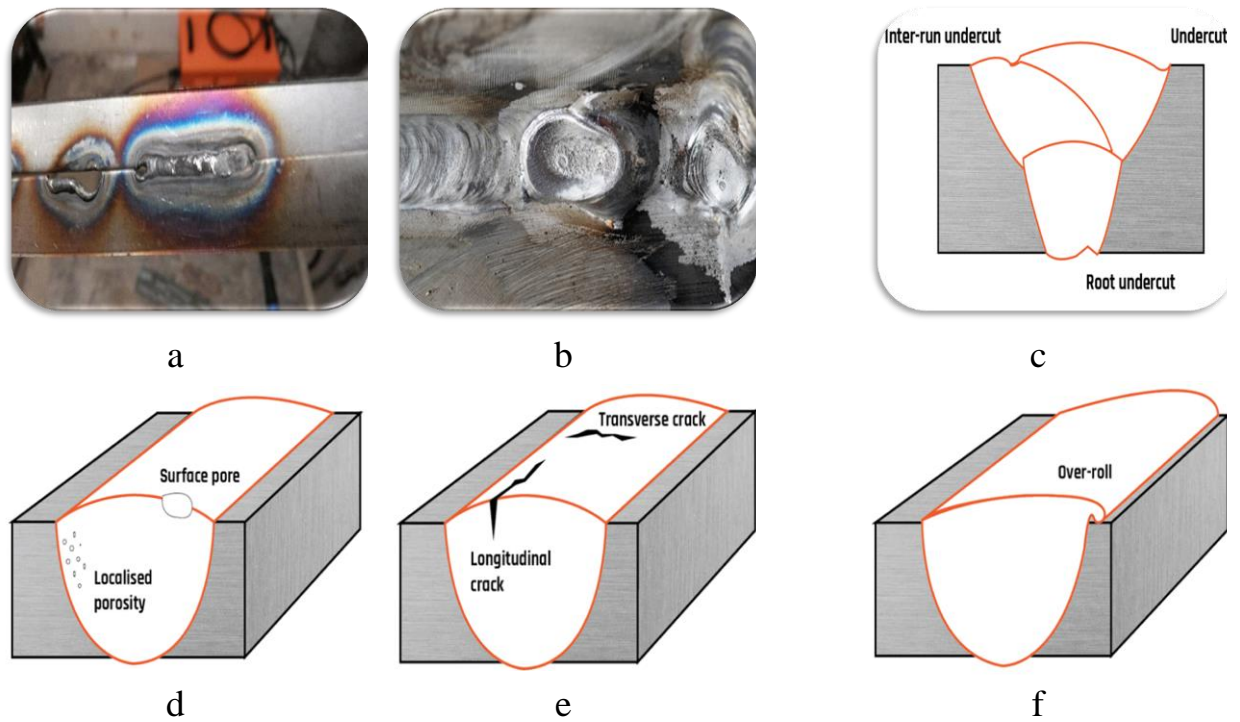


Figure 2 – Burning (a), crater (b), undercut (c)

### Welded joint inspection methods.

*Visual and measurement control (fig. 3a).* Visual inspection is the simplest and oldest way to assess the quality of a welded joint. The name implies that visual inspection and measuring instruments are used during this control. Visual observation means a simple inspection of the weld with the naked eye or a magnifying glass. In some cases, microscopes are used. And as measuring tools, ordinary rulers are most often used. This is the most accessible and inexpensive method of control, as the tools are inexpensive and the welder performing the work can be trained to perform such control. The company does not even need to hire separate specialists to carry out this control.



a



b



c

Figure 3 – Visual and measurement control (a), radiation control (b), ultrasonic control (c).

*Radiation control (fig. 3b).* Radiation control (also called radiographic control) is a very interesting control method based on the use of X-rays. Just like in an X-ray diagnosis in a clinic. The workpiece is hung in a special machine (or the machine is installed on the workpiece), then X-rays are passed through the metal and the output is a picture that shows all welding defects. This technology has probably been known to you for a long time. It's easy to guess that such diagnostics are extremely effective. The image shows the smallest defects that cannot be detected in any other way. Especially if the image is taken using a computer, which can then be used to examine all welding flaws in detail. However, when working with an X-ray machine, it is necessary to observe increased safety precautions. Radiation particles can contaminate the air, making it conductive. And there is no need to talk about possible health hazards. Therefore, only well-trained employees should be allowed to perform radiation monitoring

*Ultrasonic control (fig. 3c).* The ultrasonic inspection technique is used to diagnose all types of welding, brazing and gluing, which allows you to detect defects in joints such as Ultrasonic inspection of welded joints air voids and pores, delamination in the weld metal, weld cracks, chemically inhomogeneous inclusions, slag deposits, structural heterogeneity, and geometric dimensional distortions. The main advantages of ultrasonic flaw detection are the ability to inspect: joints made of both homogeneous and dissimilar materials structures consisting of both metals and non-metals; without destruction and without damaging the samples under study; with high mobility; with high research speed; at low cost; no hazardous factors for personnel in comparison with X-ray or radio flaw detection.

## STEEL REFINING

Куліченко В.М. – студент

Науковий керівник – Афтандіяни Є.Г., д.т.н., проф.

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Metal refining* — purification of primary (rough) metals from impurities. Black metals obtained from raw materials contain 96-99% of the base metal, the rest is impurities. Such metals cannot be used by industry due to low physico-chemical and mechanical properties.

*Pyrometallurgical refining (fig. 1)*. Pyrometallurgical refining, carried out at high temperature in melts, has a number of varieties. Oxidizing R. is based on the ability of some impurities to form stronger compounds with Pro, S, Cl, and F than compounds of the base metal with the same elements.

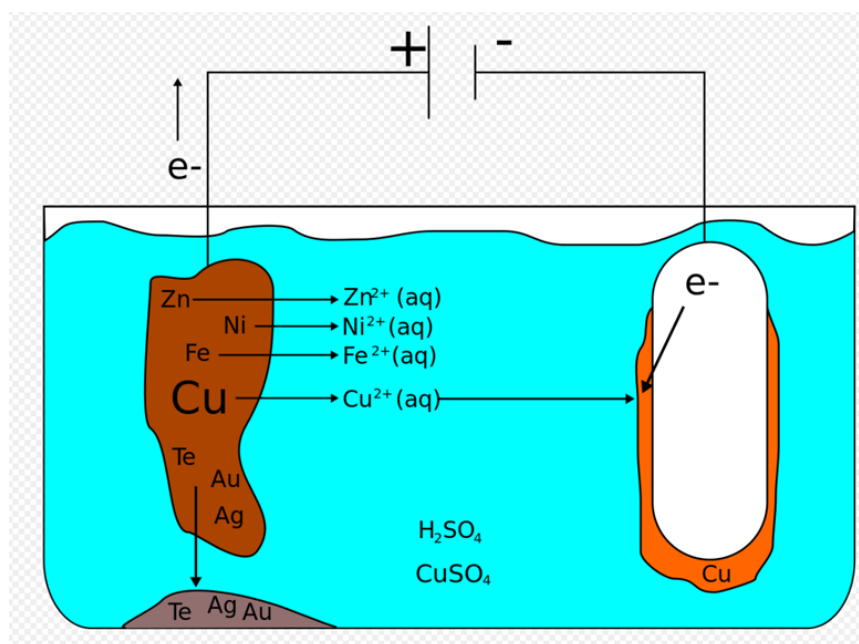


Figure 1 – Pyrometallurgical refining

The method is used, for example, for the purification of Cu, Pb, Zn, Sn. Thus, when blowing liquid copper with air, Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, Sn impurities, which have a greater affinity for oxygen than Cu, form oxides that float to the surface of the bath and move away. Liquid separation is based on the difference in melting temperatures and densities of the components that make up the alloy, and on their low mutual solubility. For example, when cooling liquid lead lead at certain temperatures, Cu crystals (so-called schlickers) are released from it, which, due to

their lower density, float to the surface and move away. The method is used for cleaning black lead from Cu, Ag, Au, Bi, cleaning black zinc from Fe, Cu, Pb, P, Sn, etc. metals Fractional recrystallization uses the difference in the solubility of metal impurities in the solid and liquid phases, taking into account the slow diffusion of impurities in the solid phase.

*Electrolytic refining (fig. 2).* Electrolytic refining, which is the electrolysis of aqueous solutions or salt melts, allows obtaining metals of high purity. It is used for deep cleaning of most non-ferrous metals. Electrolytic R. with soluble ones consists in the anodic dissolution of the metals being purified and the deposition of pure metals on the cathode as a result of the acquisition of electrons of the outer chain by the ions of the base metal. The separation of metals under the action of electrolysis is possible due to the difference in electrochemical potentials of impurities and the base metal.

*Chemical refining.* Chemical refining is based on the different solubility of metal and impurities in solutions of acids or alkalis. Impurities that gradually accumulate in the solution are chemically removed from it. expensive (hydrolysis, cementation, formation of hard-to-dissolve compounds, purification by means of extraction or ion exchange). Refinement of precious metals can serve as an example of chemical R. P. Au is produced in boiling sulfur or nitric acid. Impurities of Cu, Ag, etc. metals are dissolved, and purified gold remains in an insoluble precipitate.

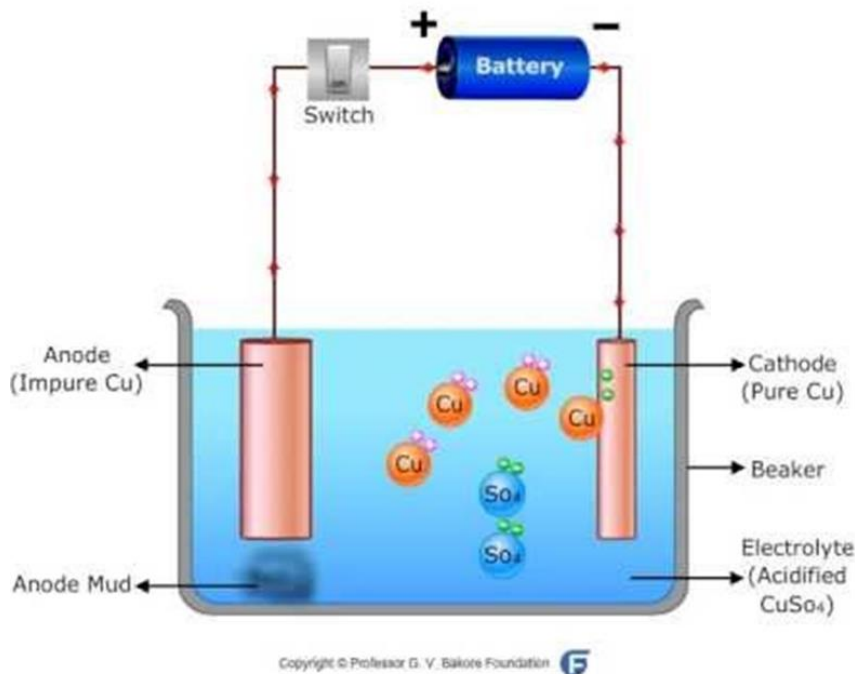


Figure 2 – Electrolytic refining

## BASIC REFRACTORY MATERIALS

*Вербовий О.П. – студент*

*Науковий керівник – Афтандіяни Є.Г., д.т.н., проф.*

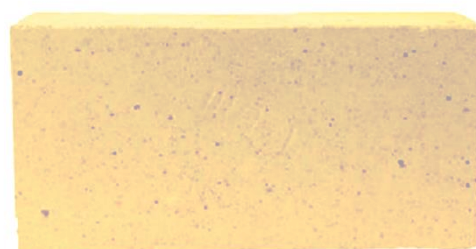
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

In materials science, a refractory (or refractory material) is a material that is resistant to decomposition by heat, pressure, or chemical attack, and retains strength and form at high temperatures.

Silicate brick (white) is a brick consisting of quartz sand and lime (fig. 1a).



a



b



c



d

Figure 1 – Silicate (white) brick (a), brick with a high content of aluminum oxide (b), fireplaces (c) and application of heat-resistant concrete (d)

Brick with a high content of aluminum oxide (fig. 1 b) is a building material that has high thermal performance and is used for laying stoves, chimneys, fireplaces (fig. 1 c). This type of brick is made from special white clay with a high content of aluminum oxide, by firing it at high temperatures.

Heat-resistant concrete is a special type of concrete material that is able to withstand the influence of temperatures in the range of 1580-1770 °C for a long time without losing operational and mechanical properties (refractory concrete, in turn, can withstand short-term heating up to a maximum temperature of 2000 °C) (fig. 1 d)

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **METHODS OF ALUMINIUM MANUFACTURE**

*Бугай М.Ю. – студент*

*Науковий керівник – Афтандіяніц Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

In non-ferrous metallurgy, the production of aluminum is allocated to a separate the specialized branch "Aluminum industry", which includes mining raw materials for the aluminum industry, production of aluminum, alumina, etc fluoride salts. Humphrey Davy in 1808 determined the existence of the base metal of alums, and named it aluminum, and later aluminum During the years 1808-1810, he tried to isolate electrolytically this metal from alumina, but he failed.

For the first time, get a metallic one aluminum was succeeded by the Danish physicist Hans Christian Oersted in 1825, thermal reduction of anhydrous aluminum chloride with potassium amalgam. This the method was improved by Friedrich Weller, who instead of amalgam used pure potassium in 1827.

Weller also owns the first an approximately accurate description of the properties of a metal. In 1854, Henri St. Clair Deville improved Weller's method and established industrial production aluminum In the process of obtaining aluminum, Deville replaced potassium with a cheaper one sodium, as well as aluminum chloride with a mixture of  $AlCl_3$  and  $NaCl$ , due to which the components of the mixture were in a molten state. Experiments at the factory Javel was completed successfully, and on July 18, 1855, the first ingots were obtained of metal weighing 6 -8 kg, which were shown at the World Exhibition in Paris. In that At the time, aluminum was so expensive that it was displayed next to it at the exhibition with treasures from the

state treasury, and Emperor Napoleon III used dishes from aluminum at state receptions. In 1865, the Russian scientist Mykola Beketov used the interaction reaction between cryolite and magnesium to obtain aluminum His method was not much different from Deville's, but it was simpler In 1885, a factory was built in the German city of Hmelingham, who worked according to the Beketov method, where 58 tons were obtained in five years aluminum —more than 1/4 of the entire world production of aluminum during 1854-1890 years. Aluminum could not be extracted chemically to provide industry with cheap metal, so the researchers had to look for other ways to produce aluminum. Back in 1854, Bunsen succeeded obtain aluminum electrolytically, namely double electrolysis sodium chloride and aluminum. In 1886, Paul Heroux in France and Charles Hall in The USA offered to mine almost simultaneously, independently of each other aluminum by electrolysis of alumina melted in cryolite, which was started a modern way of extracting aluminum

Four of the most common aluminum forming processes are extrusion, casting, rolling, and forging. Each of these employs a different technique and conveys unique properties to the aluminum. As a result, product designers can use them for different types of parts and applications.

*#1 Aluminum Extrusion* (fig. 1). In this process, a powerful ram pushes a heated aluminum billet through a die that has the desired final cross-section form. We can liken this process to the way children play with play-dough, creating a long strand of the putty by pushing it through a plastic die, or the way you push toothpaste out of a tube with a circular shape. The resulting aluminum extrusion will have the cross-section of the die, which can have a vast assortment of forms, including solid, hollow, and semi-hollow shapes. Furthermore, these profiles can be cut at any length, making extrusion the perfect method to create complex cross-sections at a relatively low production cost. In addition, extrusions have a consistently smooth surface finish that is perfect for further processing to enhance their appearance and prevent corrosion



a



b

Figure 1 – Full-length aluminum extrusions (a), worker operating an extrusion press (b)

#2 *Aluminum casting* (fig. 2). Casting is a process that is great for forming aluminum into very complex shapes. The technique involves completely melting ingots of aluminum alloys and injecting the liquid metal into a mold. The poured metal fills the empty cavity completely and then solidifies to create a perfect aluminum duplicate of the mold's internal shape. Casting can be done using several different mold types, including dies and permanent molds, clay molds, and sand molds. The parts produced using casting often require minimal additional machining. And if you use steel dies, you can repeat the process many times before replacing the die. One of the main advantages of using die casting is the complexity of the parts it produces. This complexity is unparalleled by other aluminum forming processes, and it gives you options for different textures with almost no size limitations.

#3 *Rolling aluminum* (fig. 3a).

The aluminum rolling process involves passing slabs or billets of aluminum alloys through different sets of rolls to reduce their thickness. This process repeats until the aluminum reaches its final form, resulting in a piece that will be considered a plate, sheet, or foil, depending on the thickness. The aluminum plates, sheets, and foils produced by aluminum rolling have great versatility.



a



b

Figure 2 – Die cast automotive part (a) and an aluminum die mold (b)

Fabricators can further process them, performing operations such as bending, forming, or machining. For example, they can use rolled aluminum to produce beverage and food cans, aluminum roofing and gutters, and household aluminum foil.

#4 *Forging aluminum* (fig. 3b). Forging involves forming metal by pressing, pounding, or squeezing it to achieve the desired form. The producer heats a slab of aluminum and uses a press or hammer to change its shape. Aluminum can be forged using an open or closed die. Closed dies include two halves that reflect the product's final shape, similar to casting dies. Open dies do not constrain the aluminum slab, so as it is pressed or hammered in one direction, it can expand in the others.



Manufacturers generally use open die forging for very large pieces. Parts produced by forging have great fatigue and impact resistance thanks to the strengthening imparted by the processing technique.

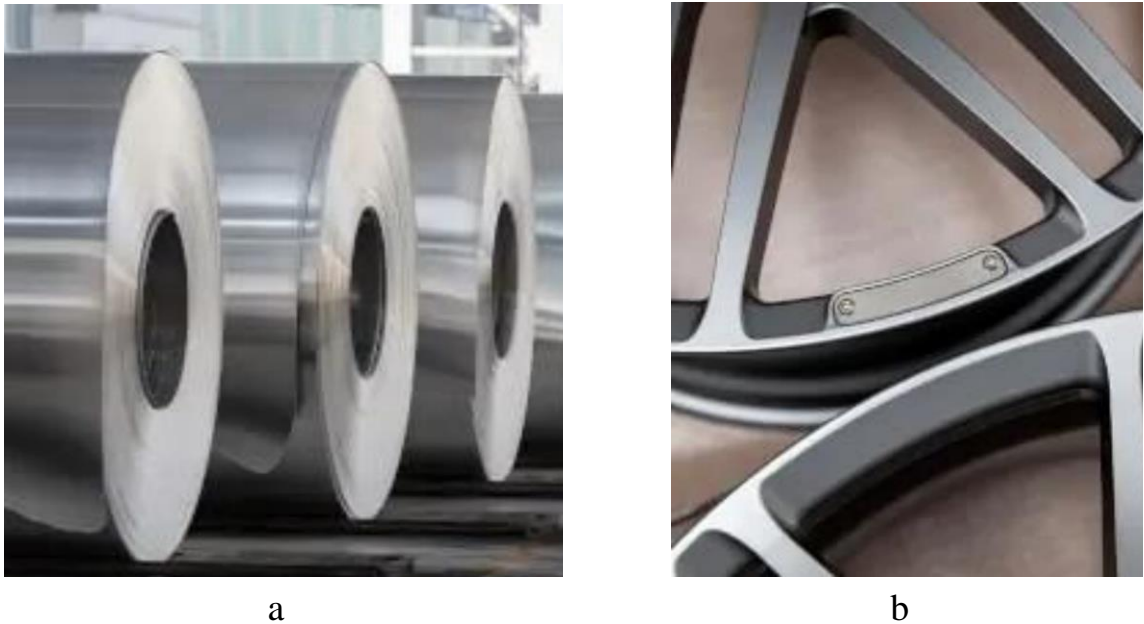


Figure 3 – Rolls of aluminum sheet (a) and forged aluminum wheels (b).

УДК 669.14.018.25:620.18:539.374

## **METAL WELDING**

*Сергієнко М.С. – студент*

*Науковий керівник – Афтандіяни Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Welding – the main way of performing inseparable connections in engineering. The essence of welding is to make a permanent connection of parts through the use of interatomic forces of adhesion.

*Thermal class (by melting).* It includes types of welding that are carried out by fusion, i.e. local melting of the parts to be joined using thermal energy.

*Thermomechanical class (using pressure).* This includes types of welding that use heat and pressure.

*Mechanical class (pressure) welding* carried out. This includes the use of mechanical energy and pressure.

*Thermal class (fusion welding).* The main heat sources are electric arc, gas flame electromagnetic field, radiant energy and heat sources, emitted by the electroslag process.

*The main types of fusion welding:*

- Arc welding;
- Gas welding;
- Electroslag welding;
- Induction;
- Electron beam welding;
- Laser.

ARC WELDING (fig. 1 a). This is a welding process that uses an electric arc to heat the metal. This type of welding is the oldest and most versatile technology, used for welding mild and alloy steels, cast iron, stainless steels, and in some cases non-ferrous metals. A variation is plasma welding. It is based on the use of plasma jet heat. u Plasma is a high-temperature stream of electrically charged particles: negative electrons and positive ions. u Plasma is used to weld thin sheet metals and mainly to cut various materials. Non-ferrous metals and alloys, high-alloy steels, refractory metals, ceramics, etc. are cut. The cutting speed reaches several hundred meters per hour. Manual argon welding arc welding in an inert gas environment argon gas. It can be performed with a consumable or non-consumable electrode. A tungsten electrode is usually used as a non consumable electrode.

GAS WELDING. The essence of gas welding is the edges of the workpieces to be welded and filler metal melt under the influence of flame heat, generated by the combustion of a mixture of combustible gases and oxygen. u Acetylene is the most commonly used most commonly used combustible gas is acetylene, which has a higher calorific value than natural gas, gasoline vapors and kerosene vapors. The main tool of a gas welder is a gas torch, in which the combustible gas is mixed with oxygen and, when burned, forms a welding flame.

ELECTRIC RESISTANCE WELDING (fig. 1 b). This type of welding is based on the use of heat, that is generated at the point of contact between the workpieces to be joined when an electric current passes through them. u There are different types of resistance welding, the most common of which is spot and roller welding. u In spot welding, the workpieces are stacked overlapping and clamped between copper electrodes, through which an electric current is passed.

*Diffusion welding.* Diffusion welding is carried out by the mutual diffusion of atoms in the contacting parts of the product under relatively long exposure to elevated temperatures and with little plastic deformation. u In press welding, the parts to be joined may become hot:

- Gas flame (gas press welding);

- Arc (arc press welding);
- Induction heating (induction press welding) and then applying pressure.

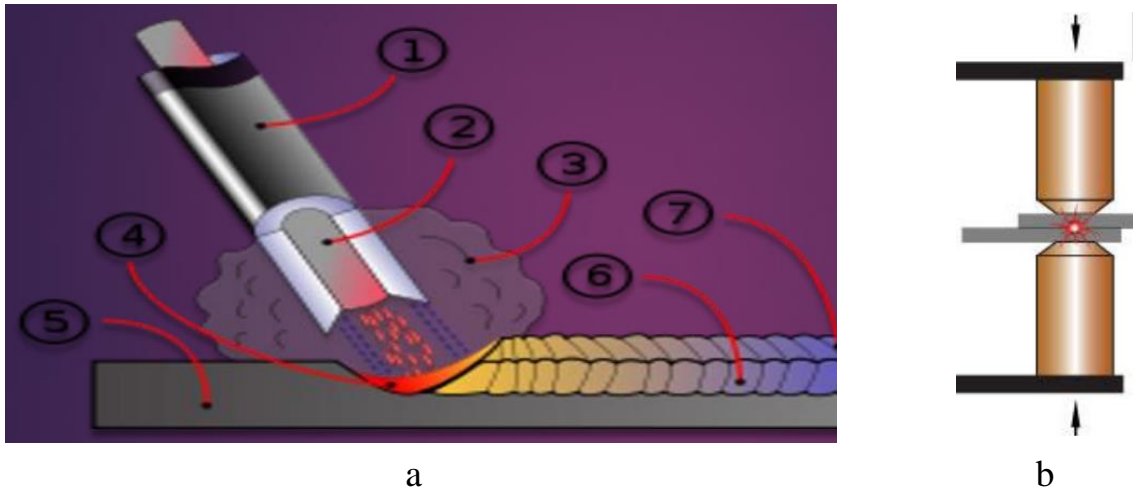


Figure 1 – Arc welding (a) and electric resistance welding (b)

*Pressure welding.* Pressure welding with significant plastic deformation without external heating of the parts to be joined. A type of welding in which the joint is made as a result of the collision of rapidly moving parts caused by an explosion. Pressure welding, which is based on the use of electromechanical interaction forces between the eddy current induced in the connected parts of the part when they cross the magnetic lines of the pulse magnetic field and the magnetic flux of the pulse itself.

DEFECTS IN WELDED JOINTS. External, internal, end-to-end, cracks (fig. 2).

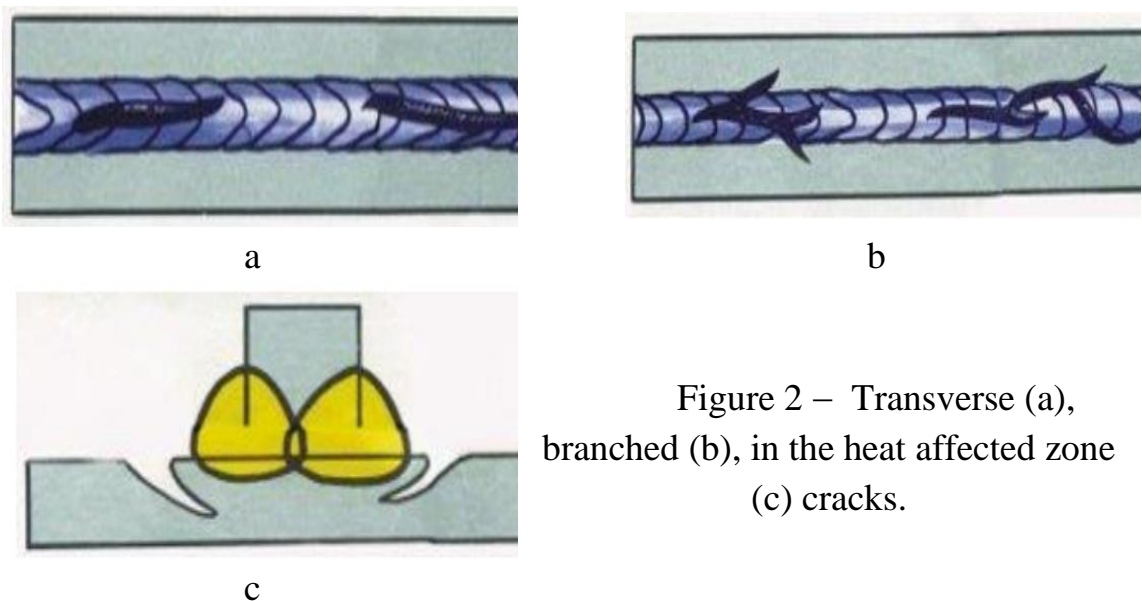


Figure 2 – Transverse (a), branched (b), in the heat affected zone (c) cracks.

## METHODS OF CONVERTER MANUFACTURE OF STEEL

*Скобель І.Ю. – студент*

*Науковий керівник – Афтанділянц Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

A method of steel production using converters was developed in the 1850s and is known as the Bessemer process (fig. 1). This method involves blowing air through molten iron to oxidize and remove impurities such as carbon, silicon, and manganese. This creates a purer form of iron known as steel.

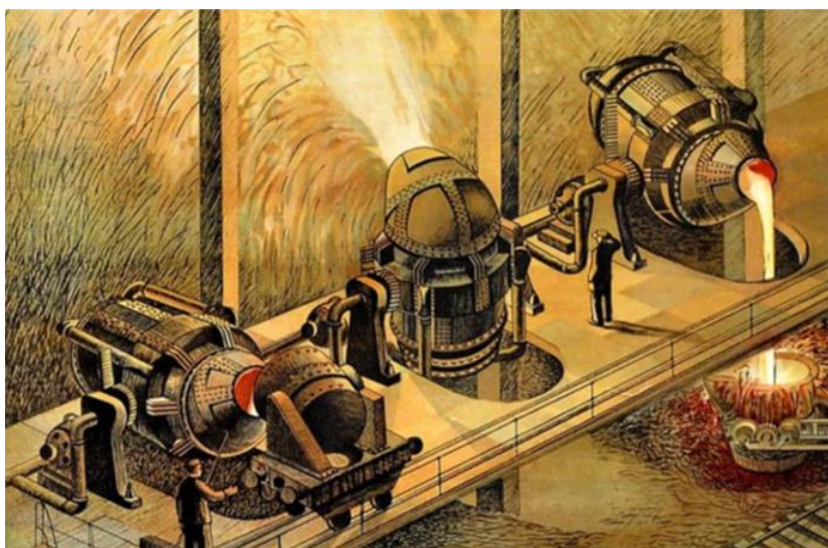


Figure 1 –  
Bessemer  
process

The Bessemer process revolutionized steelmaking by making it cheaper and more efficient (fig.2). However, over time, it was discovered that this method was not effective for producing high quality steel, as the process of blowing air through the molten iron also removes useful impurities such as copper and nickel.

### ***Different processes of production***

Accordingly, other BOF steelmaking methods have been developed, such as the basic oxygen process and the electric arc furnace. In the basic oxygen process, air is replaced with oxygen, which provides more efficient removal of impurities and the creation of high-quality steel (fig. 3). The electric arc furnace uses an electric current to melt iron and additional materials to create steel.

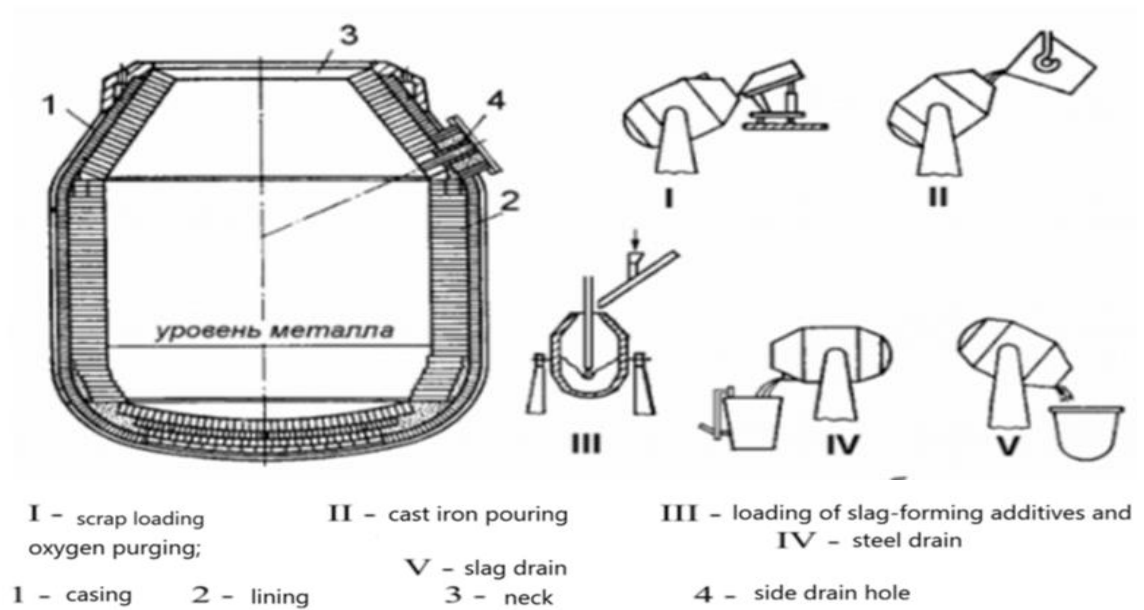


Figure 2 – Converter scheme and main melting periods

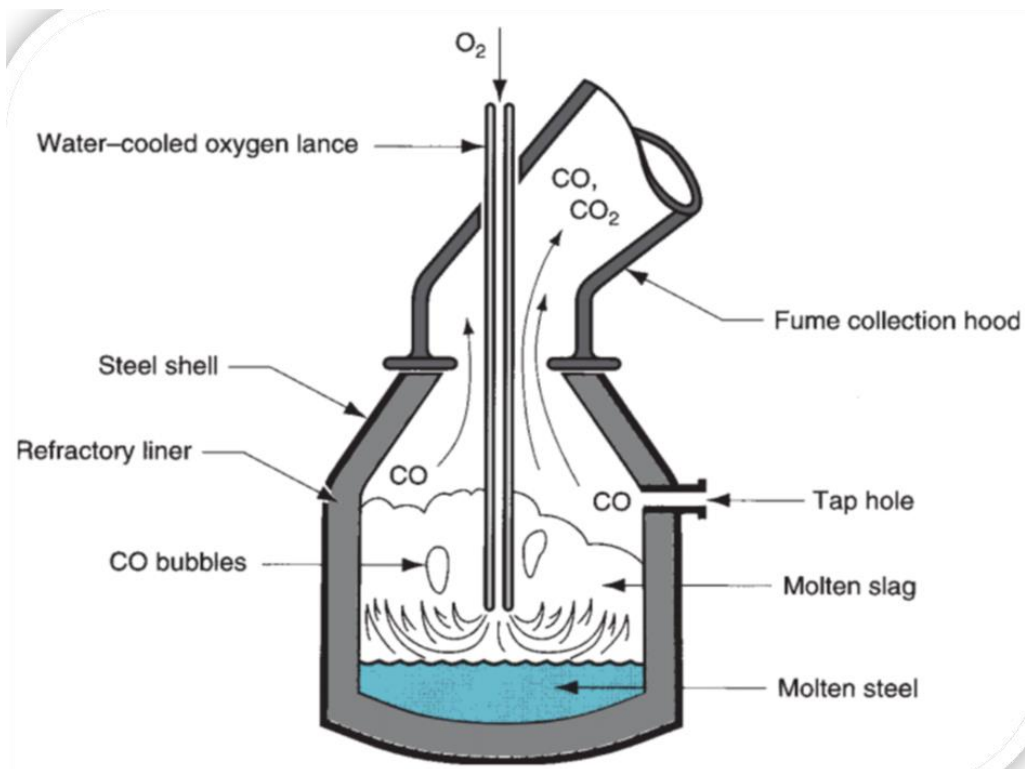


Figure 3 – Basic Oxygen furnace showing BOF vessel

**Summary.** Today, converter steelmaking methods are the key methods of steel production in most countries of the world. They make it possible to produce large volumes of steel used in construction, machine building, transportation

## VACUUM TREATMENT OF LIQUID STEEL

*Черкас А.В. – студентка*

*Науковий керівник – Афтандіяни Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Vacuum treatment of liquid steel is a crucial process to remove unwanted impurities from the steel. This process is highly used in the modern steelmaking industry. The vacuum treatment process is carried out in a vacuum tank, where the liquid steel is subjected to a highly evacuated environment. This technique is highly efficient and reliable for steel refining

*Vacuum degassing process (fig. 1).* The vacuum degassing process is a highly effective way to remove unwanted gases such as hydrogen, nitrogen, and oxygen from liquid steel. The vacuum tank is equipped with a vacuum pump, which creates a highly evacuated environment in the tank. The gases are then removed from the liquid steel, which results in a cleaner and stronger steel.

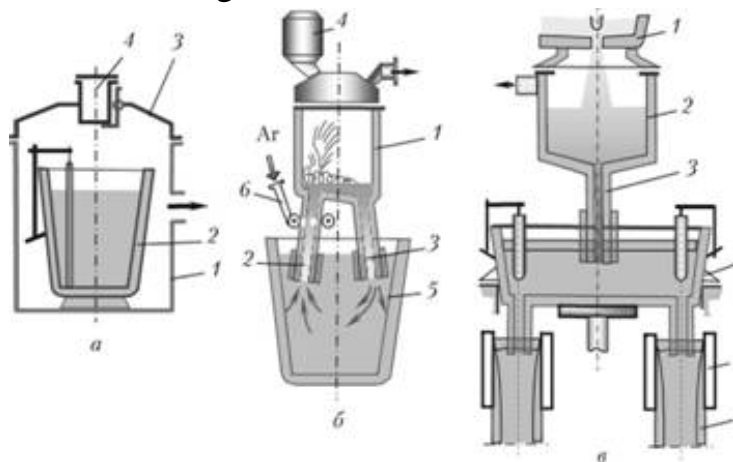


Figure 1 – Vacuum degassing process

*Vacuum oxygen decarburization process.* The vacuum oxygen decarburization process is used to remove carbon and oxygen from liquid steel. The process is carried out in a vacuum tank, where oxygen and carbon are removed from the steel through a chemical reaction. This process is highly efficient and reliable for steelmaking.

*Vacuum carbon deoxidation process (fig. 2 a).* The vacuum carbon deoxidation process is used to remove oxygen from liquid steel. This process is carried out in a vacuum tank, where carbon is added to the steel through a chemical

reaction. The carbon reacts with oxygen, which results in the removal of oxygen from the steel.

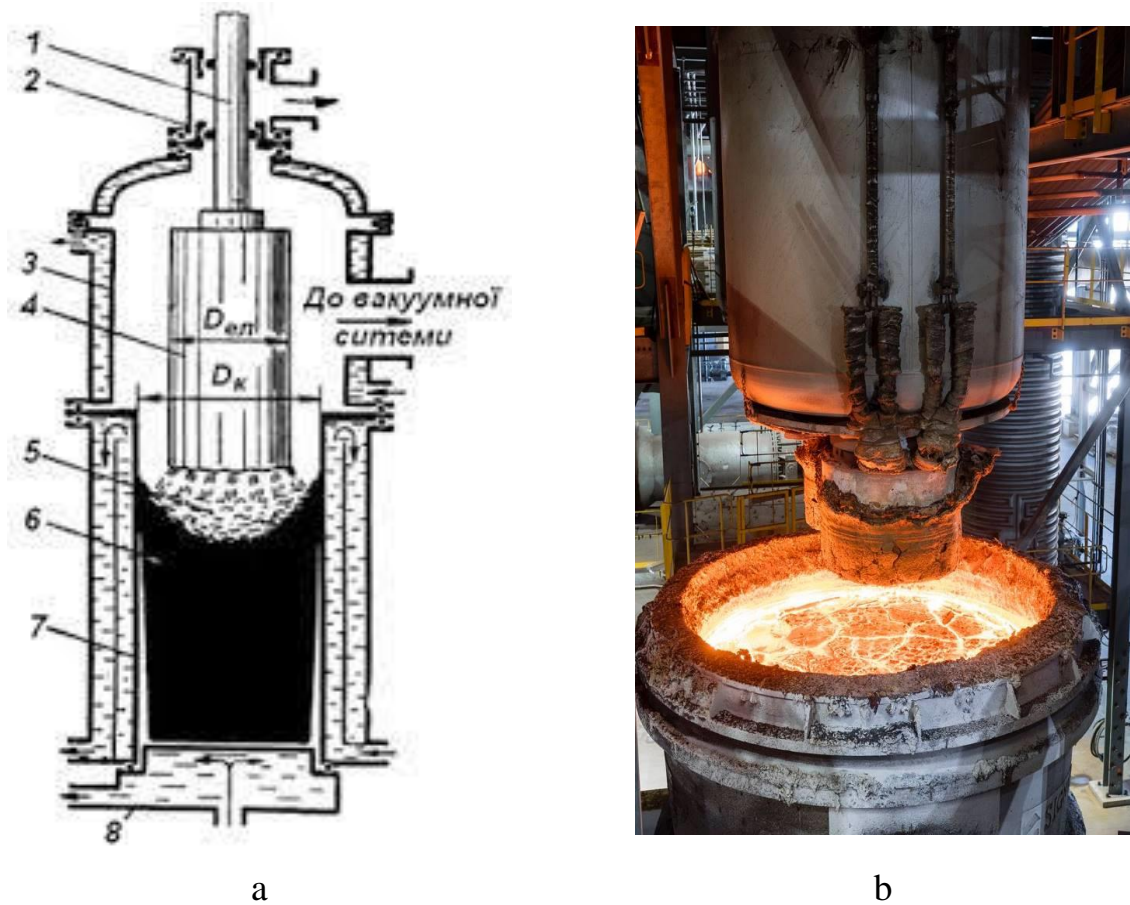


Figure 2 – Vacuum carbon deoxidation process (a) and advantages of vacuum treatment (b)

*Advantages of vacuum treatment (fig. 2 b).* The vacuum treatment process has many advantages over other steel refining techniques. It results in higher quality steel, with lower levels of impurities. It is also a more environmentally friendly process, as it produces less waste and emissions. Additionally, it is a more efficient process, as it requires less time and energy to refine the steel.

**Conclusion.** The vacuum treatment of liquid steel is a highly efficient and reliable process for refining steel. It is used extensively in the modern steelmaking industry to produce high-quality steel products. The process has many advantages over other steel refining techniques, making it a popular choice for many steel manufacturers.

## METHODS OF POWDER PRESSING

*Данілова М.С. – студентка*  
*Науковий керівник – Афтандіяни Є.Г., д.т.н., проф.*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Powder pressing is a process used in the manufacturing of various ceramic, metal and composite materials. It involves the compaction of fine powders into a desired shape and size using mechanical or hydraulic pressure. The resulting compacted powder is then subjected to high-temperature sintering to produce a dense, solid material with improved properties such as strength, hardness, and wear resistance.

*Types of Powder Pressing.* There are two main types of powder pressing: uniaxial and isostatic. Uniaxial pressing involves the application of pressure in one direction, while isostatic pressing applies pressure uniformly from all directions. Uniaxial pressing is commonly used for simple shapes such as discs, cylinders, and rectangular blocks, while isostatic pressing is preferred for more complex shapes such as spheres, tubes, and irregular geometries.

*Factors Affecting Powder Pressing.* Several factors can affect the success of powder pressing, including the particle size and distribution of the powder, the type and amount of binder used, the pressure applied, and the temperature and duration of the sintering process. Other factors such as the design of the die and the lubrication used during pressing can also have an impact on the final product's quality and properties.

*Challenges of Powder Pressing.* Despite its many advantages, powder pressing also presents several challenges, such as the difficulty in achieving uniform density throughout the compacted powder, the risk of cracking or deformation during pressing and sintering, and the need for specialized equipment and expertise. Furthermore, the cost of powder pressing can be higher than other manufacturing processes due to the need for high-quality powders, binders, and equipment, as well as the energy required for sintering.

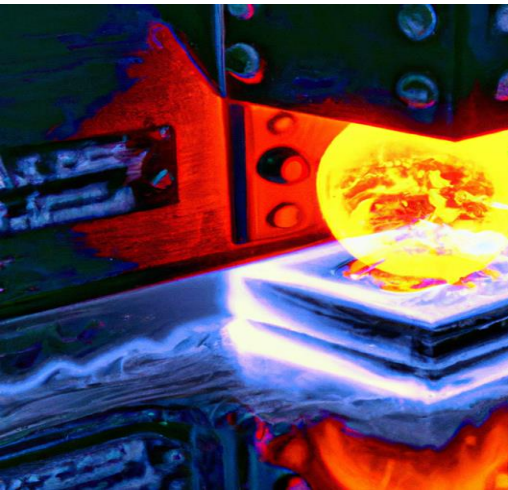
*Future Developments in Powder Pressing.* Research into powder pressing continues to focus on improving the efficiency, accuracy, and versatility of the process. One area of interest is the development of new binders and additives that can improve the flowability and packing density of powders, as well as reduce the risk of defects during pressing and sintering. Another area of research is the use of



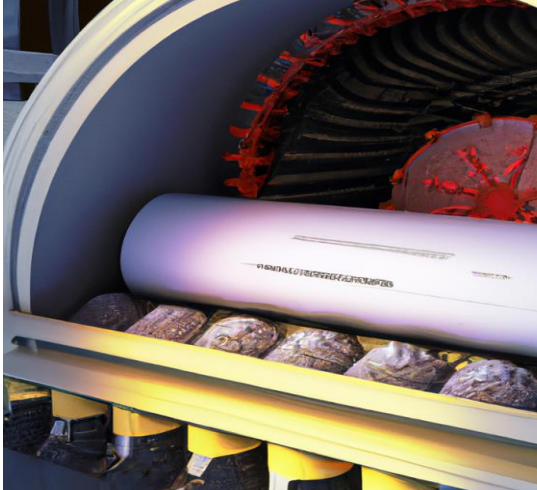
advanced modeling and simulation techniques to optimize the design of dies and predict the behavior of powders under different processing conditions.

*Spark Plasma Sintering* (fig. 1 a). Spark plasma sintering is a powder pressing method that involves applying high temperature and pressure to a powder material using electric current. This technique is useful for producing parts with high density and strength. During the spark plasma sintering process, the powder material is placed in a die cavity and subjected to high temperature and pressure using electric current. This results in a compacted powder material with high density and strength.

*Isostatic Lamination* (fig. 1 b). Isostatic lamination is a powder pressing method that involves stacking layers of powder material and applying pressure from all directions. This technique is useful for producing parts with complex shapes and high density. During the isostatic lamination process, layers of powder material are stacked and placed in a flexible container, which is then placed in a pressure vessel filled with a liquid medium. The pressure is applied uniformly from all directions, resulting in a compacted powder material with high density and complex shapes.



a



b



c



d

Figure 1 – Spark Plasma Sintering (a), Isostatic Lamination (b), Hot Isostatic Pressing (c) and powder parts (d)

*Hot Isostatic Pressing* (fig. 1 c). Hot isostatic pressing is a powder pressing method that involves applying high temperature and pressure to a powder material. This technique is useful for producing parts with high density and strength.

During the hot isostatic pressing process, the powder material is placed in a sealed container, which is then heated to high temperatures and subjected to high pressure. This results in a compacted powder material with high density and strength.

*Advantages of Powder Pressing.* Powder pressing offers several advantages over other manufacturing processes, including the ability to produce complex shapes with high accuracy and consistency, the efficient use of raw materials, and the ability to tailor the properties of the final product through the selection of different powders and processing conditions.

Additionally, powder pressing can be used to produce parts with a range of sizes and volumes, from small components for electronics to large structural elements for aerospace applications (fig. 1 d).

УДК 539.38

## **ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА КРИОГЕННОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПІДВИЩЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ**

*Шманенко В.В. – магістр*

*Науковий керівник – Чаусов М.Г., д.т.н., проф.*

***Національний університет біоресурсів та природокористування України***

Подані результати експериментальних досліджень по впливу сумісної дії криогенної обробки і ударно-коливального навантаження в різній послідовності на зміну механічних властивостей нержавіючих сталей 12X18H10T і 12X18H9, які суттєво відрізняються по хімічному складу.

Показано, що різна послідовність криогенної обробки сталі протягом 1 години і ударно-коливального навантаження (УКН) при кімнатній температурі майже не змінюють механічні властивості сталей. Навпаки, попереднє УКН різної інтенсивності при температурі рідкого азоту і подальший статичний розтяг сталі при кімнатній температурі призводить до суттєвої зміни міцнісних властивостей сталей. Встановлено, що при заданому діапазоні інтенсивності імпульсного введення енергії в сталь за УКН,  $\varepsilon_{\text{імп}} = 2,7 \dots 12,5 \%$ , при  $\varepsilon_{\text{імп}} = 9,69 \%$  межа міцності сталі при подальшому статичному розтягу досягає

максимального значення і збільшується, у порівнянні з вихідним станом сталі, на 32,2 %, в той же час пластичність сталі зменшується на 26 %. Аналогічні дослідження проведенні на сталі 12Х18Н9 при  $\varepsilon_{\text{імп}} = 9,5\%$  в рідині рідкого азоту і подальшого статичного розтягу при кімнатній температурі показали, що межа міцності збільшується на 17 %, у порівнянні з вихідним станом сталі, а пластичність сталі зменшується на 29 %. Причому, слід відмітити, що незважаючи на значне зменшення пластичності сталей за запропонованим режимом випробувань, вона для обох сталей все ще залишається на дуже високому рівні. Для сталі 12Х18Н10Т пластичність складає 63,8 %, а для сталі 12Х18Н9 – 58,8 %.

Для пояснення виявлених механічних ефектів були проведенні детальні фізичні дослідження структури зразка із сталі 12Х18Н10Т після попереднього УКН в середовищі рідкого азоту при  $\varepsilon_{\text{імп}} = 9,63\%$  на ТЕМ мікроскопі JEOL – 2100F. Дослідження виявили, що за такого складного режиму навантаження відомий механізм пластичного деформування матеріалу ковзанням змінюється на процес пластичного деформування двійнікуванням, що при подальшому статичному розтягу і збільшує міцність сталі.

Аналіз отриманих результатів показує, що в нержавіючих сталях різного хімічного складу різноманітність фізичних механізмів дисипації енергії при сумісній дії УКН і охолодження значно збільшується, у порівнянні з кімнатною температурою, і тому подібні режими складного навантаження можуть бути дуже просто застосовані для технологічних операцій підвищення міцності нержавіючих сталей.

УДК 631.333

## **УДОСКОНАЛЕННЯ НАСІННЕВОГО РОЗПОДІЛЬНИКА СІВАЛКИ З ЦЕНТРАЛІЗОВАНИМ ДОЗУВАННЯМ І ПНЕВМАТИЧНИМ ТРАНСПОРТУВАННЯМ НАСІННЯ**

*Балюк Ю.А. – студент  
Науковий керівник – Кульпін Р.А., асист*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Високий врожай сільськогосподарських культур в значній мірі залежить від правильності їх посіву. Щоб рослини могли оптимально розвиватися, вони потребують достатньої площі для забезпечення живлення. Тому на кожному

гектарі необхідно посіяти оптимальну кількість насіння відповідної культури. Якщо кількість висіву менша за рекомендовану норму, це може спричинити зменшення кількості рослин, що знизить врожай та збільшить поширення бур'янів. Надмірне висівання, навпаки, призводить до зайвої густини рослин, неефективного використання насіння та призводить до зниження врожаю. До посіву зернових культур застосовують та використовують технологічні процеси з такими вимогами: а) розподіл заданої кількості насіння на кожний погонний метр поля; б) однакове розподілення насіння по всій площі, що засівається ; в) закладення насіння на задану глибину рівномірно. Отже, для виконання даних вимог необхідно удосконалювати робочі органи сівалок, які використовуються при посіві зернових культур. Цей процес передбачає попереднє технологічне обґрунтування елементів конструкції цих сівалок з урахуванням особливостей зерна. Одним із способів досягнення рівномірного розподілення зерна по площі поля є удосконалення пневмотранспортуючої мережі сівалки, яка є частиною всієї висівної системи. Системи висіву широкозахватних посівних комплексів мають в своєму складі бункер з висівним апаратом, пневмотранспортну мережу з вентилятором із розподільною системою, механізми приводу висівного апарату. Висівні апарати використовуються для дозування насіння, мінеральних добрив та подачі їх до сошників через насіннепроводи. Вони можуть бути різних типів, включаючи катушкові, катушково-штифтові, чарункові та пневматичні. Висівний апарат складається з корпусу, катушки, муфти, розетки, втулки, патрубку, лотка, вала приводу, клапана та пружини. Пневмотранспортуюча мережа включає в себе вентилятор, пневмопроводи, розподільник насіння та блок керування. Провівши аналіз існуючих конструкцій розподільних систем виявлено, що в широкозахватних посівних комплексах де встановлено розподільник насіння вертикального типу розподіл насіння до сошників є нерівномірний. Особливо зменшується кількість насінневого матеріалу в крайніх, дальніх сошниках від середини комплексу в порівнянні з центральними. Тому було розроблено модель горизонтального розподільника насіння для забезпечення рівномірного розподілу зерна до всіх сошників (рис.1).

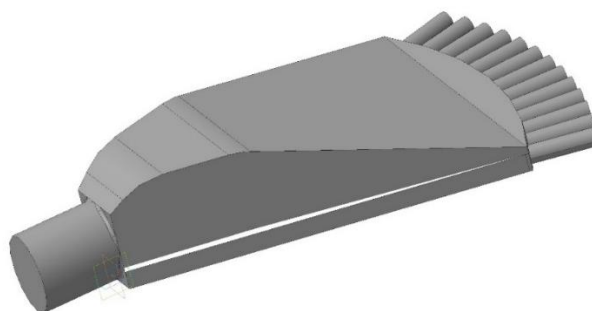


Рисунок 1 – Модель розподільника насіння

Встановлено, що при застосуванні горизонтального розподільника насіння пневмотранспортуючої системи посівного комплексу нерівномірність розподілу насіння по сошниках не перевищуватиме 5%, тоді як у серійних агрегатах з використанням вертикального розподільника нерівномірний розподіл насіння по сошниках становить 12%, що дозволить підвищити врожайність зернових культур до 7%.

УДК 621.74

## **ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ**

*Синегуб О.В., студент*

*Науковий керівник – Похиленко Г.М., ст. викл.*

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

Блок циліндрів є базовою деталлю двигуна. На ньому і всередині нього встановлюються основні механізми і деталі систем двигуна. Блок циліндрів - це складний вилівок, який належить до деталей класу «корпусні деталі». Він може бути відлитий з легованого сірого чавуну або з алюмінієвого сплаву. Після лиття блок циліндрів піддають штучному старінню, що зменшує його деформації в процесі експлуатації і забезпечує збереження правильної геометричної форми.

Поверхня блоку циліндрів використовується в якості робочої тільки в деяких автомобільних і тракторних двигунах з невеликим діаметром циліндра. У більшості сучасних двигунів рідинного охолодження циліндр, де переміщається поршень, виконується у вигляді мокрої гільзи, що омивається зовні охолоджуючою рідиною, або у вигляді сухої гільзи, яка встановлюється по всій довжині циліндра або у верхній його частині, де спостерігається максимальний знос.

Гільза займає серед теплонапружених деталей двигуна особливе місце як по призначенню, так і по висунутим до неї вимогам. Забезпечення тільки міцності гільзи, незважаючи на всю важливість цієї вимоги, недостатньо для тривалої і надійної роботи двигуна.

Сухі гільзи товщиною 2-4 мм запресовують або встановлюють з зазором 0,01-0,04 мм. Невелика товщина сухих гільз обумовлює, при їх застосуванні, економію якісних матеріалів, проте підвищений термічний опір контактної поверхні між гільзою і блоком погіршує тепловідвід від циліндра в

охладжуючу рідину. Внаслідок цього в форсованих двигунах, як правило, застосовують мокрі гільзи-втулки, що забезпечують кращу теплопередачу і легко замінні в разі пошкодження. Крім того, при їх використанні спрощується лиття блоку циліндрів. Однак жорсткість блоку зменшується, з'являється додаткова можливість для розвитку кавітаційних явищ в порожнині охолодження в результаті підвищених вібрацій мокрих гільз.

Залежно від способу установки в блоці циліндрів можна виділити гільзи, які спираються на верхню плиту блоку, і так звані підвісні, коли гільза, поєднана з кришкою циліндра щодо тонкими шпильками, утворює з останньої вузол, який закріплюється в корпусі основними силовими шпильками.

Перший вид гільз найбільш поширений і застосовується в двигунах всіх типів.

Конструкція гільзи повинна забезпечити, з одного боку, невисокий рівень напружень від монтажних зусиль і газового навантаження, а з іншого - помірний рівень температур і температурних напружень.

В автомобільних і тракторних дизелях застосовують мокрі гільзи, що відливаються з чавуну, з верхнім опорним фланцем. Опорна площа фланця, обмежена діаметрами, що становить 8-15% площі поршня. При цьому тиск від сил затягування шпильок, що кріплять головку циліндра до блоку, на кільцевій поверхні не повин перевищувати 380-420 МПа для чавунних і 140-180 МПа для алюмінієвих блоків. Зі збільшенням різниці діаметрів підвищується напруга вигину в верхньому пояску. Висота фланця складає 7-10% діаметра циліндра.

Для підвищення герметичності газового стику на фланці втулки виконують кільцевої буртик шириною 2-5 мм, який виступає над площиною блоку на величину, що може досягати 0,15 мм і залежить від типу ущільнюючої прокладки і діаметра циліндра.

У деяких карбюраторних двигунах, де менше зусилля, що діють на втулку, її опорний фланець іноді значно зміщують від верхньої площини блоку (нижній опорний фланець). При цьому зменшується температура верхньої частини втулки і відповідно поршневих кілець.

Гільзи виготовляють з сірих чавунів, наприклад СЧ 30, СЧ 35, легованих хромом, нікелем, молібденом, що мають перлитну структуру з великою кількістю графіту у вигляді пересічних пластин. Легування чавуну підвищує його механічні властивості: міцність, зносостійкість і жаростійкість. Застосування пористого хромування дозволяє отримати значну поверхневу твердість і зменшити знос чавунних гільз (в 2,5-4,5 рази залежно від виду палива).

Двигуни, які мають циліндри, виготовлені у вигляді змінних мокрих гільз, простіше ремонтувати та експлуатувати. Блок циліндрів, відлитий разом з циліндрами, складніше ремонтувати, так як якщо вийшов з ладу хоча б один циліндр, то потрібно розточувати і шліфувати всі циліндри.

УДК 621.74

## **ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ**

*Сало К.О. – магістр*

*Науковий керівник – Похиленко Г.М., ст. викл.*

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

Що таке Хонінгування? Хонінгування — це остаточна, фінішна обробка, яка виконується на внутрішній поверхні гільзи або блоку циліндрів двигуна. Цей процес використовується для отримання точної геометрії отвору та підвищення точності поверхні. Характерна риса цього процесу – він здійснюється абразивними дрібнозернистими брусками, при об'єднанні обертового і поступального руху інструмента (хонінгувальної головки). Внаслідок переміщення абразивних зерен по гвинтовій лінії на оброблюваних поверхнях циліндрів (гільз) створюється характерна сітка.

Коротка історія хонінгування. Ідея хонінгування – заданим заздалегідь рухом шліфування та одночасне зняття притиску – виникла багато століть тому. У 1500-х роках Леонардо да Вінчі розробив інструмент для обробки дерев'яних труб. Інструмент використовував комбінацію обертання та прогладжування та містив абразивний пісок.

Інструменти для хонінгування, як ми їх знаємо зараз, були розроблені на початку 20-го століття в основному для вдосконалення компонентів двигуна внутрішнього згоряння. Першими хонінговими інструментами були дерев'яні палички з наждачним папером. Пружини притискали палички до стінок циліндра. Незабаром були розроблені більш складні інструменти. У 1924 році був запатентований п'ятибрусковий стрижневий хонінгувальний інструмент з карданним шарніром і пружинною подачею. На початку 1930-х років хонінгування вперше було застосовано у високопродуктивній обробці при пакетному хонінгуванні шатунів. Хонінгування циліндрів — це одна з технологічних операцій виробництва високопродуктивного двигуна, яка часто сприймається як належна, але вона може бути ефективним засобом не лише

для контролю за оливою, але й збільшення потужності. За оцінками експертів різниця між правильним і неправильним хонінгуванням циліндрів може досягати 30 кінських сил. Правильне хонінгування отвору циліндра чудове кільцеве ущільнення та подовжує термін служби кільця. Часто це баланс наявності достатньої площі поверхні, щоб забезпечити герметичність поршневого кільця, але не настільки великого, щоб утримувати оливу та змащувати кільця.

Візуально після хонінгування циліндр має досить високу шорсткість поверхні і має візерунок хрестоподібної форми, тоді як працюючий циліндр має «глазурану» поверхню з невеликими або без хрестоподібного візерунка, залежно від зносу. Коли хонінгований циліндр розглянути під мікроскопом, поверхня виглядає як багато «піків» і «западин». «Піки» - це найвищі точки поверхні, яка контактує з кільцями. «Западини» — це ділянки, які були вирізані абразивом під час процесу хонінгування. Після запуску нового двигуна верхівки «піків» буквально зрізаються, оскільки кільця рухаються у циліндрі, створюючи «площини», по яким кільця можуть рухатися, і легку плівку оливи, яка зберігається в «западинах».

Щоб досягти належної якості стінок циліндра, виробники двигунів ретельно перевіряють три параметри; точність обробки, перехресні риси та точність геометричної форми циліндра, усе з метою досягнення чудового кільцевого ущільнення та максимальної продуктивності.

У виробництві двигунів використовують профілометр для контролю шорсткості Ra (середня шорсткість стінок циліндрів). Складний електронний інструмент оснащений щупом з алмазним наконечником, схожим на голку, який переміщується по поверхні, вимірюючи розподіл піків і западин.

Профілометр надає точні, чіткі характеристики шорсткості отвору циліндра, які включають "RPK" (зменшену висоту піків), "RVK" (зменшену глибину западин) і "RK" (глибину шорсткості серцевини), яка базується на результатах вимірювань "RPK" і "RVK".

Оскільки «RVK» - це глибина западин, яка утримує оливу, вона безпосередньо пов'язана з витратами оливи. Надмірна «RVK» сприяє великим витратам оливи, тоді як недостатня величина може призвести до надмірного зносу кільця і циліндрів. Під час хонінгування циліндрів також ретельно перевіряється кут нанесення рисок, який контролюється швидкістю обертання хонінгувальної головки та швидкістю її циклічних рухів вгору-вниз. Кут можна перевірити за допомогою транспортира.

Кут перехресних рисок має бути однаковим по всій довжині циліндра, і хоча найбільш поширений кут становить приблизно 45 градусів, він може змінюватися залежно від натягу кільця або довжини ходу. Деякі виробники



віддають перевагу 20-30 градусним, наприклад, при використанні оливи с'ємних кілець низького натягу, оскільки це зменшує кількість руху оливи вгору і вниз по циліндру. З іншого боку, двигуни з довгим ходом поршня можуть працювати краще з більшим, 60-градусними перехресними рисками, оскільки цей кут забезпечує більший рух оливи до верхньої частини отвору і швидше повертає її в піддон.

УДК 621.74

## **КОНСТРУКЦІЯ І ВГОТОВЛЕННЯ ПРИВІДНИХ ЛАНЦЮГІВ**

*Ігліньський О.В., студент*

*Науковий керівник – Похиленко Г.М., ст. викл.*

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

Привідні ланцюги – це важливі компоненти механізмів, які використовуються для передачі обертання від одного валу до іншого. Їх використовують в різноманітних галузях, таких як машинобудування, сільське господарство, транспорт, енергетика та інші. При виборі привідного ланцюга важливо звертати увагу на його тип, розміри, міцність, зносостійкість, корозійну стійкість, умови експлуатації. До основних типів привідних ланцюгів відносять роликові, втулкові, зубчасті, пластинчасті ланцюги.

Конструкція привідного (роликового) ланцюга досить проста і складається всього з 5 деталей: штифти, втулки, ролики, внутрішні та зовнішні пластини. Виготовлення привідних ланцюгів складається з декількох етапів:

1. Підготовка матеріалів. Для виготовлення ланцюгів використовується вуглецеві, леговані та нержавіючі сталі. Матеріал повинен відповідати необхідним характеристикам міцності, зносостійкості та корозійної стійкості. Заготовки для деталей ланцюга (ланки, втулки, ролики, валики) виготовляються шляхом прокатки, штампування, токарної обробки або інших методів.

2. Механічна обробка. Обробка деталей ланцюга для досягнення необхідної точності розмірів і форми виконується на технологічних операціях фрезерування, шліфування, свердління, розточування.

3. Термічна обробка. Деталі ланцюга піддаються термічній обробці для покращення їх механічних властивостей. Зазвичай використовується гартування та відпуск, що дає необхідну твердість, міцність та зносостійкість.

4. Збирання ланцюга. Деталі ланцюга з'єднуються між собою за допомогою заклепок, штифтів або інших методів з'єднання. При цьому важливо забезпечити точність з'єднання, щоб ланцюг працював плавно і безшумно.

5. Контроль якості. Готовий ланцюг проходить контроль якості, для перевірки його відповідності технічним характеристикам. Перевіряються такі параметри, як розміри, міцність, зносостійкість, корозійна стійкість, плавність ходу.

6. Захисне покриття. Для захисту від корозії ланцюг може покриватися лакофарбовими матеріалами, гальванічними покриттями або іншими захисними засобами.

7. Пакування та маркування. Готові ланцюги пакуються та маркуються відповідно до вимог замовника.

Варто відзначити, що технологічний процес виготовлення привідних ланцюгів може варіюватися залежно від типу ланцюга, його характеристик та виробника. Наприклад, стандартний роликівий ланцюг і роликівий ланцюг для важких умов роботи мають однакові розміри, але основна відмінність в тому, що роликіві ланцюги для важких умов роботи виробляються з більш товстими пластинами внутрішньої та зовнішньої ланок. Це покращує міцність і стійкість до втоми таких ланцюгів під робочим навантаженням. Такий роликівий ланцюг призначений для приводів із помірними ударними навантаженнями та частим запуском і зупинкою. Стандартний роликівий ланцюг найкраще підходить для плавних приводів, які мають менші навантаження.

УДК 621.9.048

## **МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Дербасов М.В. – студент*

*Науковий керівник – Черниш О. М., к.т.н., доц.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Мета дослідження.** Обґрунтувати використання моделі вібраційної сушарки для сипких матеріалів з точки зору її мінімальної енергомісткості

шляхом застосування в її конструкції подвійного маятникового механізму вільного ходу.

**Результати досліджень.** Проблема вибору методів і засобів сушіння різноманітних матеріалів мають місце у більшості сучасних технологічних процесів. При цьому разом із задачами прискорення процесу сушіння та підвищення його якісних показників існує також актуальна задача зменшення енергозатрат на його здійснення. Таку задачу можна розв'язати шляхом розробки і створення вібраційного енергоощадного обладнання і технологій.

Доцільність та ефективність застосування вібраційних сушарок полягає в тому, що енергетичні затрати процесу сушіння суттєво зменшуються, особливо при використанні вібраційного поля в поєднанні із механічною дією.

Конструкція вібраційної сушарки (рис. 1) містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 26, яка встановлена на пружинах 2 і оснащена механічним віброприводом 3 та газорозподільною решіткою у вигляді пустотілого циліндра 4 із перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 із еластичними скребками або щітками з ворсу 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками або щітками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 26 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками або щітками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Крім того, лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками або щітками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21, на якій розміщено механізм вільного ходу 22 з маятниками 23 і 24, які знаходяться зовні сушильної камери 1, які через пружини 25 з'єднуються між собою та камерою 1. До нижньої частини сушильної камери встановлено всередині дифузор 27, який через пружне еластичне з'єднання 28 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента 20.

Сушильна камера 1, що ущільнена пружними вставками 29, 30, у верхній кришці 31 має завантажувальну горловину 32, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток 33.

Вібраційна сушарка працює наступним чином. Від вібратора 3, що обертається із кутовою швидкістю  $\omega$ , колові коливання передаються у вертикальній площині U-подібній камері 1, в торцях якої встановлені підпружинені маятники 24. Гармонічні коливання, що генеруються приводом, кінематично збурюють крутильні коливання маятників 24. Власні частоти

коливань маятників із вантажами вибираються приблизно однаковими із частотою коливань камери. Але частота маятників не повинна бути однаковою для створення їх протифазних коливань.

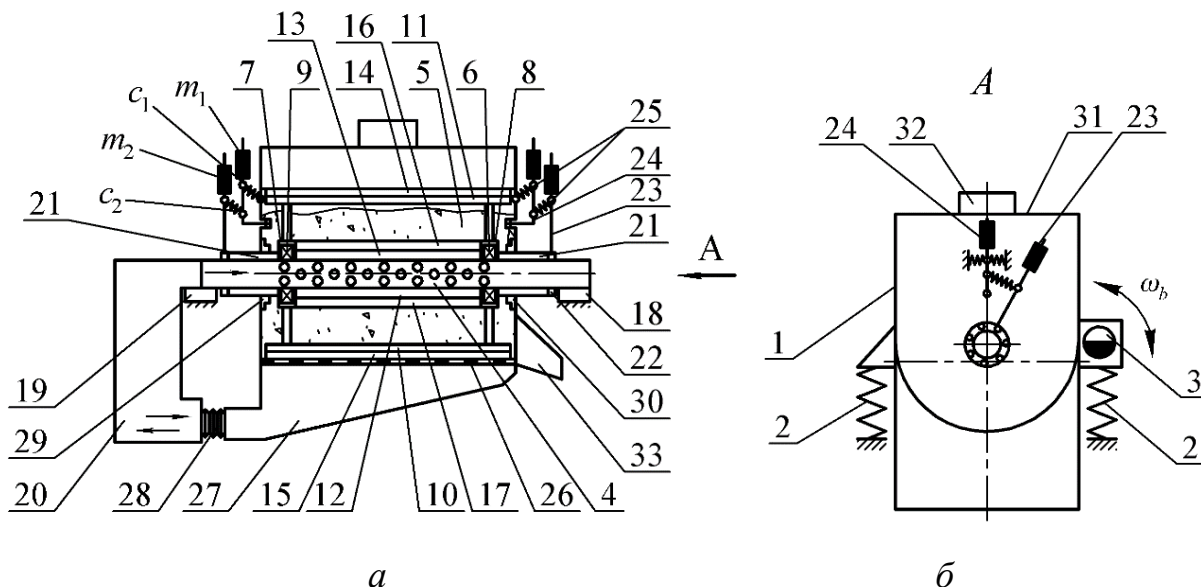


Рисунок 1 – Конструкція вібраційної сушарки

Через пружини, які з'єднують маятники, крутильні коливання передаються від маятників 24 до маятників 23. Останні через механізми вільного ходу приводять в обертний рух втулки 21, що виконані у вигляді внутрішніх обойм механізмів вільного ходу, які в свою чергу нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які нерухомо з'єднані з лопатями-перемішувачами. Крутильні коливання 23 перетворюються в обертний рух лопатей-перемішувачів. Завдяки пружним вставкам 29 між втулкою та камерою високочастотні коливання камери на пустотілий циліндр не передаються.

Отже, варіювання величинами мас вантажів  $m_1$  і  $m_2$  та жорсткостями  $c_1$  і  $c_2$ , приводить до регулювання величин крутного моменту і кутової швидкості обертання лопатей-перемішувачів, що забезпечує раціональні параметри перемішування сипкого матеріалу 5 і очищення робочих поверхонь сушарки. При моделюванні конструкції вібраційної сушарки також були залучені засоби автоматизованого проектування Autodesk Inventor.

**Висновки.** Наведена конструкція вібраційної сушарки дозволяє приводити в обертання її лопаті-перемішувачі без використання додаткового приводного механізму, що зменшує енергетичні витрати на виконання технологічної дії та додатково інтенсифікує процес сушіння сипких матеріалів.

## **КОНСТРУКЦІЯ МЕТАЛЕВОГО ПІДЗЕМНОГО БУНКЕРА ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ**

*Панченко Л.К. – студентка  
Науковий керівник – Березовий М.Г., к.т.н., доц.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Питання забезпечення безпеки цивільного населення в нашій країні на сьогоднішній день повстало надзвичайно гостро. Постійні обстріли населених пунктів, районів щільної забудови приватного житлового сектору з початку широкомасштабного вторгнення в Україну військ країни-агресора [1] в лютому 2022 року показали, на скільки наявне житло цивільного населення не було готове до захисту мешканців від наслідків активних бойових дій, що відбуваються. Населення розуміє, що в сучасних реаліях кожен має турбуватися про безпеку, і не тільки свою, але й своїх близьких.

Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України затвердило в листопаді 2023 року нові Державні будівельні норми для споруд цивільного захисту: "Захисні споруди цивільного захисту" [2]. Норми встановлюють вимоги до проектування, будівництва нових споруд, а також реконструкції та ремонту тих, що існують. Усі проекти відбудови житлових та громадських будівель повинні мати захисні споруди відповідно до нових ДБН, цілі яких зорієнтовані на інклюзивність та облаштування за стандартами безбар'єрності. Захисні споруди мають враховувати потреби людей з інвалідністю, включаючи пандуси, підйомні пристрої, візуальну та тактильну навігацію, контрастне маркування на сходах та порогах.

При проектуванні захисних споруд переважно застосовуються наступні конструктивні схеми [2]: каркасно-панельна з повним каркасом; каркасно-панельна з неповним каркасом; безкаркасна. Будівельні компанії з Харкова, Дніпра, Львова тощо пропонують зведення швидко-монтажних модульних захисних споруд за проектами власної розробки, різних конструкцій [3].

Проект повністю автономного підземного металевого будинку-бункера Схов є сховищем, що може стати комфортним житлом для невеликої сім'ї. Це захищений міні-будинок, який можна встановити під землею на підвір'ї. Сховище 2,7x7,5 м має спальню для трьох осіб, кухню, ванну, передпокій та технічне приміщення (рис. 1). Складається з модулів – основного приміщення та одномаршевих сходів. Роздільна конструкція полегшує транспортування.

Уже на місці модулі з'єднують між собою та монтують.

Головна ідея проекту полягає в створенні безпечного простору, що має повну автономність на декілька тижнів та водночас забезпечує належний рівень комфорту. Наявність вдома такого схову надалі дозволить не полишати місце проживання у разі надзвичайної ситуації. Так, зокрема, бункер Схов розрахований на удар важкою артилерією [4, 5]. Від поверхні землі його відділяє три метри ґрунту та міцна монолітна залізобетонна плита.

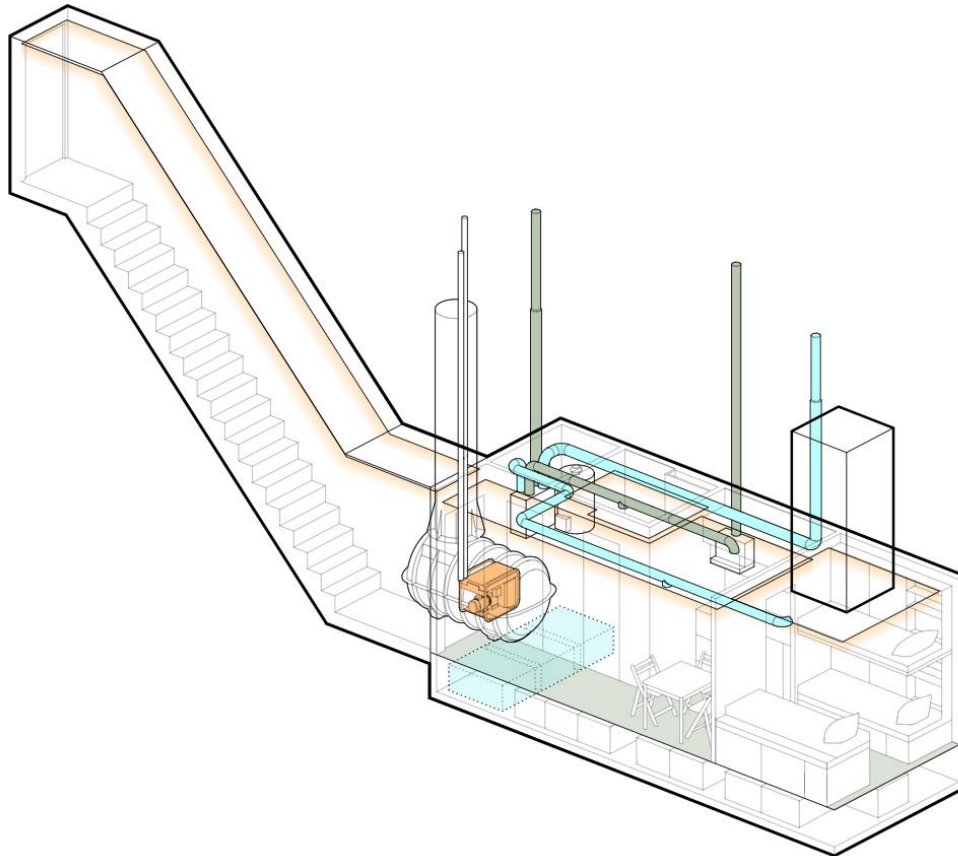


Рисунок 1 – Схема конструкції підземного бункера

У разі ураження основного виходу бомбосховища, наявний запасний евакуаційний люк. На випадок повного блекауту та відключення комунікацій в сховищі знаходиться інверторний генератор та необхідний запас пального. Генератор живить систему вентиляції, сушіння та підігріву повітря, насос водопостачання та каналізації. Надміцні броньовані двері та можливість облаштування замаскованого входу дозволяють, за необхідності, перекрити окупацію території чи іншу небезпеку, що виникла.

Для довгострокового проживання в укритті передбачено холодильну та морозильну камери, великий запас питної води та додаткова система її очищення, місце для зберігання речей в підлозі бункера, місткі шухляди та технічне приміщення. Кухня облаштована електричною плитою, витяжкою, мікрохвильовою піччю, раковиною та обіднім столом. Комфортний санвузол

обладнано душовою кабіною, бойлером та системою очищення каналізаційних відходів.

Бункер Схов складається з основного модуля (рис. 1), модуля входу та шахти евакуаційного виходу. Всі елементи конструкції виконані зі сталі та герметично зварені. Жорсткість конструкції забезпечує надміцний сталевий каркас з товстостінної профільної труби. Зовнішня поверхня оброблена спеціальним антикорозійним покриттям. Корпус утеплений мінватою. Бункер встановлюється у котлован на бетонну основу. Підключається до комунікацій. Виконується гідроізоляція котловану та відливається захисна плита.

Технічні умови та вимоги до конструкції підземного бункера відповідають чинним Державним будівельним нормам [2, 6-8]: «Захисні споруди цивільного захисту»; «Інклюзивність будівель і споруд»; «Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом захисних споруд цивільної оборони та їх утримання»; «Планування та забудова територій».

Для монтажу необхідно передбачити майданчик розміром не менше 19х13 м, під котрим буде встановлено бункер. Також необхідне вільне місце поруч для виконання земляних робіт, місце під'їзду спецтехніки (кран, трактор, самоскиди тощо), відсутність перешкод у землі та повітрі (інженерні мережі, проводка, консолі) [9].

#### **Список використаних джерел:**

1. Russia invaded Ukraine. The official website of Ukraine. URL: <https://war.ukraine.ua/> (дата звернення: 31.03.2024)
2. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 123 с.
3. Желуденко К.В., Передерій Ю.Р. Проектування об'єктів цивільного захисту в Україні / Будівельні матеріали, конструкції та споруди третього тисячоліття: зб. наук. пр.: Вип. 5. Херсон: ХДАЕУ, 2022. С.30-33. URL: [conf-20221117\\_mat\\_bud.pdf](https://ksau.kherson.ua/conf-20221117_mat_bud.pdf) (ksau.kherson.ua) (дата звернення: 31.03.2024).
4. Схов. URL: <https://skhov.com/> (дата звернення: 31.03.2024)
5. Литвинов О. І., Михайлович Я. М., Бойко А. В., Березовий М. Г. Теоретична механіка. Ч. II. Динаміка. Основи аналітичної механіки. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с.
6. ДБН В.2.2.-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Із Зміною № 1. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 64 с.
7. ДБН А.3.1-9:2015 Захисні споруди цивільного захисту. Експлуатаційна придатність закінчених будівництвом об'єктів. Київ: Міністерство

- регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 9 с.
8. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Київ: Мінрегіон України, 2019. 177 с.
  9. Бакулін Є. А., Яковенко І. А., Бакуліна В. М. Інженерний захист та підготовка територій: навч. посібник / за ред. Є. А. Бакуліна. Київ: НУБіП України, 2020. 212 с.

УДК 631.3

## СОШНИКИ NO-TILL СІВАЛОК

*Штукін О.С. – студент*  
*Науковий керівник – Кравченко В.В., к.т.н., доц.*

### ***Уманський національний університет садівництва***

Сівалка є однією з основних машин при вирощуванні сільськогосподарських культур за технологією No-till.

Основні вимоги та завдання, які ставляться перед сошником:

- має формувати й очищати посівне ложе та укладати на нього насіння.
- дотримувати задану глибину сівби.
- повинні самоочищатись,
- повинен довго служити при низьких затратах на обслуговування та забезпечувати гарну якість роботи на швидкості до 20 км/год.
- працювати в складних умовах (наприклад ґрунти з наявністю каміння).
- швидке регулювання тиску на ґрунт при зміні умов роботи
- прикриття насіння достатньою кількістю розпушеного ґрунту.

Сошники поділяються на дві групи – наральникові та дискові. Останні, в свою чергу, бувають однодискові та дводискові, а наральникові діляться на анкерні, долотоподібні та лапові. [1].

При технології No-till використовуються обидва типи сошників. Тенденції розвитку сільськогосподарської техніки вказують на те, що сьогодні анкерні сошники стають усе менш популярними, а долотоподібні використовуються лише у певних умовах. Майже 85% усіх сівалок виробники оснащують сьогодні дисковими сошниками, оскільки вони легше пристосовуються до різних умов роботи [2].



Виробники сівалок проектують свої машини для тих кліматичних умов, де працюватиме основний споживач. Так, анкерні сошники в основному не підходять для технологій No-till, бо вони все ж трохи розпушують і перемішують ґрунт, проте їхньою перевагою є можливість вносити стартові добрива окремо від насіння, здійснювати смуговий висів, збільшуючи площу живлення рослин. Анкерним сошникам потрібен менший тиск для роботи на полях з великою кількістю пожнивних решток. Вони краще витримують задану глибину висіву без зменшення робочої швидкості, а це вже збільшення продуктивності висівних агрегатів. Анкерні сошники, невибагливі до ступеня подрібненості соломи, її можна залишити навіть цілою, аби лиш стійки сошників не нагортали перед собою масу [2]. Кліматичні умови також впливають на вибір сошників. Наприклад, виробники сівалок канадського регіону використовують в основному анкерні сошники. У США на сівалках можна зустріти і анкерні і дискові, а в країнах Південної Америки, таких як Бразилія, Аргентина, – тільки дискові сошники [2]. Тому що у країнах із прохолодним кліматом анкерні сошники дадуть ґрунту можливість швидше прогріватися, а в посушливих краях – це надмірне випаровування вологи. У посушливих місцях, де основною метою є збереження вологи, краще себе зарекомендували дискові сошники. Вони добре копіюють рельєф поля, мінімально пошкоджують поверхню ґрунту і при достатньому тиску висівають у велику кількість пожнивних решток. При цьому мають менший тяговий опір. Дискові сошники дають змогу встановлювати спеціальні притискні пристрої для покращення контакту між насінням і ґрунтом. Ще однією перевагою є можливість працювати на швидкості до 20 км/год. Дводискові сошники формують V-подібну борозну [1]. Диски встановлюють під кутом 3° до напрямку руху. Деякі виробники зміщують назад один диск відносно другого приблизно на 2,5 см. Це зменшує їх знос та покращує прохідність і очищення. Однодискові ж сошники працюють за принципом дискової борони. Їх установлюють під кутом 3-7°, завдяки чому вони під час руху відсовують пожнивні рештки і верхній шар ґрунту трохи вбік. За диском розміщується борозенок, який формує посівне ложе [2].

#### **Список використаних джерел:**

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.
2. Андрій Войтік Поради експерта: як правильно вибрати сошник для сівалки? / Agravery.com: <https://agravery.com/uk/posts/author/show?slug=poradi-eksperta-ak-pravilno-vibrati-sosnik-dla-sivalki> (дата звернення 10.04.2024)

## **КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ**

*Куденчук В.Р. – студент*

*Науковий керівник – Кравченко В.В., к.т.н., доц.*

*Уманський національний університет садівництва*

Обприскування — один із основних способів застосування пестицидів для захисту сільськогосподарських культур, який полягає в нанесенні хімічних препаратів у крапельно-рідкому стані на об'єкти оброблення (рослини, ґрунт, шкідники тощо) [1].

Розрізняють звичайне, малооб'ємне та ультрамалооб'ємне обприскування. При звичайному обприскуванні витрата робочої рідини становить 1000...2000 л/га в саду, 200...400 л/га на польових культурах, 600...800 л/га на виноградниках.

Обприскувачі складаються з робочих та допоміжних органів. До робочих належать насос, розпилювальні та заправні пристрої, мішалки; до допоміжних - рама, резервуар, фільтри, регулятори тиску, всмоктувальна та нагнітальна магістралі, органи керування і контролю, ходова частина (для причіпних обприскувачів) [1].

У сучасних обприскувачах передбачено широку уніфікацію робочих та допоміжних органів і складальних одиниць, яка має міжнародний характер. Це стосується переважно гідравлічної комунікації: насоси, розпилювачі, арматура, органи керування [2].

У конструкції сучасних обприскувачів зберігаються тенденції збільшення продуктивності, ширини захвату та місткості робочих баків, поліпшення якісних показників роботи машин, удосконалення основних вузлів і устаткування з метою як підвищення якості роботи машин, так і зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище, подальшого використання різних засобів автоматизації, а також розширення номенклатури машин, оснащених спеціальним устаткуванням для використання їх у системі точного землеробства.

Головним напрямком діяльності всіх фірм-виробників обприскувачів є створення конструкцій машин, що відповідають міжнародним нормам по якості внесення пестицидів і захисту навколишнього середовища. Мінімізація збитку навколишньому середовищу досягається за рахунок якісної роботи розподільчих робочих органів, автоматизації процесу внесення й контролю

над роботою устаткування. Надійність машин закладається на стадії їх конструювання й виробництва з повним контролем виготовлення на всіх технологічних операціях. Характерна також, взаємозамінність складальних вузлів і окремих комплектуючих машин різних виробників, тому що вони поставляються спеціалізованими фірмами (насоси, форсунки, гідроприводи, двигуни для самохідних обприскувачів, електронне естаткування та ін.) [2].

Місткість робочого бака і ширина захвата штангового робочого органа обприскувачів становлять відповідно: начіпні – 1200-1500 л, 10-24 м, причіпні – 2500-4900 л, 16-38 м, самохідні – 2500-6000 л, 16-42 м [2].

Рами машин виконуються з високоякісних сталевих профілів, а також алюмінію, що полегшує несучі елементи конструкції та зменшує масу машин.

Баки виготовляються переважно з поліетилену високої міцності самими виробниками або поставляються на замовлення спеціалізованими підприємствами. Обприскувачі комплектуються окремими промивними баками із вбудованою системою промивання, міксером для готування робочого розчину, бачком для миття рук [2].

#### **Список використаних джерел:**

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.
2. Новітні енергетичні засоби та сільськогосподарські машини: підруч. /О.С. Пушка, А.В. Войтік, В.В. Кравченко, Т.О. Кутковецька. - Умань : Видавець "Сочінський М.М.", 2018. - 244 с.

УДК 631.3

## **ОЧИСНИКИ РЯДКІВ ДЛЯ СІВАЛОК NO-TILL**

*Форостяний В.М. – студент*

*Науковий керівник – Кравченко В.В., к.т.н., доц.*

*Уманський національний університет садівництва*

Сучасна система землеробства No-till, яку інколи ще називають системою «прямої сівби», достатньо обґрунтовано відносять до найвагоміших надбань агрономічної та інженерної науки другої половини ХХ сторіччя в галузі землеробства [1]. Безпосередня сівба, нульовий обробіток – це спосіб сівби без попереднього обробітку ґрунту в стерню або післяжнивні рештки.

Одними з концепцій цієї системи є залишення всієї побічної продукції на поверхні ґрунту. Тому сівалка повинна керувати рослинними рештками на рівні насінневої борозенки та міжряддя. При цьому необхідно пам'ятати, що рослинні рештки є не лише на поверхні ґрунту, а й в ґрунті і з ними також потрібно справлятися сівалці. Стан рослинних решток залежить не лише від виду культури, але і терміну між їх надходженням на поверхню ґрунту і сівбою. Чим довший цей період, тим більше змінюється їх первинний стан за рахунок прояву їх розкладу. Вони стають більш крихкими і легше розрізаються колтерами або дисковими сошниками [1].

Загальна конструкція очищувача рядів включає рамку, стійку для кріплення зірочок, тримач та дві зірочки для очищення рядка. Зуби рівномірно розподілені по колу зірочки для очищення рядків, і обидві зірочки симетрично встановлені з обох боків стійки під певним кутом до землі [2]. Зуби обох зірочок зазвичай чергуються спереду та знизу та над точкою контакту з ґрунтом. Одними з основних факторів впливу очисників на якість сівки є швидкість руху агрегату, висота встановлення та кут установки очисних зірочок у вертикальній та горизонтальній площинах. Нахил зубів зірочок очисника зазвичай може бути вперед, назад або вони розміщуються в радіальному напрямку. Забагато зубів на зірочці призводить до знаходження одночасно великої кількості зубів у ґрунті, що призведе до надмірного тиску на зірочки очисника та збільшення енергоємності процесу. При цьому відстань між зубами зменшиться, що може призводити до заклинювання зірочок між собою [3]. Коли кількість зубів занадто мала, утворюється більша необроблена площа, що призводить до зниження ефекту очищення рядків.

Очисники можуть кріпитись жорстко до рами або бути «плаваючими», що дає змогу копіювати поверхню поля. Також, в сучасних сівалках є можливість регулювання висоти встановлення очисників з кабіни трактора [4].

#### **Список використаних джерел:**

1. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-Till .- Київ, 2011. – 372 с.
2. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.
3. Li, X.; Zhang, Y.; He, H.; Wang, B.; Zhou, H.; Geng, D.; Zhang, Y. Design and Experiment of Row Cleaner with Staggered Disc Teeth for No-Till Planter. *Agriculture* 2023, 13, 1373.
4. John Dobberstein & Julia Gerlach What You Should Know About No-Till Planters / No-till farmer: <https://www.no-tillfarmer.com/articles/346-row-cleaners-coming-of-age?v=preview> (дата звернення 10.04.2024)

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ

*Шапаренко М.О. – студент*

*Науковий керівник – Кравченко В.В., к.т.н., доц.*

*Уманський національний університет садівництва*

Збирання плодів – один із найтрудомісткіших процесів. На нього припадає понад 40 % усіх затрат праці. На збирання плодів з 1 га саду потрібно затратити понад 200 люд.-год. Основні причини, які гальмують створення засобів для механізованого збирання врожаю, полягають в особливостях фізико механічних властивостей плодів і плодових дерев, великій різноманітності схем садіння дерев і типів крони. Крім того, більшість плодів дуже чутливі до механічних дій, що значно ускладнює механізацію цього процесу [1]. У садівничих господарствах застосовують такі основні технології збирання [2]:

1. Ручна з використанням засобів малої механізації.
2. Двофазна технологія з роздільним способом збирання: використовують машини для струшування плодів та машини для підбирання плодів;
3. Пряма механізована: використовують спеціальні комбайни для збирання плодів;
4. Напівмеханізована з елементами ручного збирання: використовують платформи для збирання плодів.
5. Роботизована: використовують роботизовані самохідні машини.

За організацією розрізняють такі методики збирання плодів: індивідуальна та групова. Різновидом групового методу є потоковий (бригадний), який поєднує збирання, навантаження і транспортування плодів. Цей метод збирання врожаю в інтенсивних насадженнях ще називають потоково-контейнерним [3]. У сучасних промислових насадженнях з малооб'ємними кронами заввишки до 2,0–2,5 м застосовують переважно такий метод, який передбачає збирання плодів ланкою з 6–8 і більше осіб з використанням не лише індивідуальної тари, але й контейнерів місткістю 250–350 кг, причіпних збиральних низькорамних платформ з контейнерами, що значно підвищує продуктивність праці і знижує витрати коштів [4].

Машини для збирання плодів та ягід бувають навісними і самохідними, складаються з пристроїв для коливання дерев (вібратор) та вловлювачів плодів

пасивного або активного типів. Останніми роками на ринку з'являються нові інноваційні рішення для садівництва, зокрема роботизовані самохідні платформи [2].

### Список використаних джерел:

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.
2. Олег ГАЙДЕНКО, Юрій КЕРНАСЮК Ефективні технології механізованого збирання врожаю у садівництві / Агробізнес сьогодні: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/20068-efektyvni-tekhnologii-mekhanizovanoho-zbyrannia-vrozhaiu-u-sadivnytstvi.html> . (дата звернення: 10.04.2024).
3. Сіленко В. О. Сучасні технології садівництва. Практикум : навч. посіб. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 182 с.
4. Мороз О.С. Сучасні технології при зборі урожаю плодових і ягідних культур в садах інтенсивного садівництва. Вісник НУВГП, Серія «Сільськогосподарські науки», 2021, Випуск 2 (94). 119-133.

УДК 681.586

## ВИДИ КІНЦЕВИХ ВИМИКАЧІВ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА

*Яцюк Є.П. – студент*

*Наукові керівники – Шаленко В.О., к.т.н., доц., Корнійчук Б.В., к.т.н., доц.,  
Маслюк А.А., асист.*

### *Київський національний університет будівництва і архітектури*

На сьогоднішній день існує велика кількість та різноманітність кінцевих вимикачів, які використовуються в 3D-принтерах. Вони можуть мати різну геометричну форму, різну будову та принцип роботи. Найбільш розповсюджені механічні кінцеві вимикачі, які мають просту будову. В основі



*Рис. 1. Механічний кінцевик*

такого кінцівка знаходиться звичайний вимикач. Принцип його роботи базується на натисканні кнопки, яка розмикає два контакти. Сам вимикач може мати одну кнопку, або мати лапку яка може бути різного розміру (рис. 1), а інколи й з коліщатком на кінці. Вони

порівняно дешеві, зручні у підключенні та монтажу на певній вісь принтера. При цьому мають єдиний суттєвий недолік – фізична кількість натискання механічної кнопки, яка сягає приблизно 50 000 циклів.

Наступним кінцевий вимикачем для осей (X, Y, Z) принтера можуть використовуватися оптичні датчики – перемикачі (рис. 2.). Вони можуть використовуватися для вимірювання швидкості обертання за допомогою диска з прорізами, або як датчик перешкоди. Датчик складається з джерела світла та фотодетектора. Джерело світла випромінює світловий промінь, який проходить через щілину та потрапляє на фотодетектор. Якщо об'єкт перегороджує світловий промінь, фотодетектор реєструє зміну світлового потоку і видає сигнал. Також до оптичних можна віднести



Рис. 2. Оптичний датчик



Рис. 3. Фотоелектричний датчик

фотоелектричні датчики (рис. 3.). Вони безконтактні, герметичні, інфрачервоного типу, які використовуються на 3D-принтерах та пристроях автоматизації для визначення положення об'єктів. Принцип роботи базується на створенні поля навколо себе і випромінюванні електромагнітного проміню. Як тільки промінь відстежить будь-який непрозорий об'єкт в діапазоні свого виявлення – датчик миттєво відправить сигнал на плату контролю. Такі оптичні датчики вважаються більш точними і надійними, проте сонячне світло і пил можуть викликати помилкове спрацювання. Тому їх доцільно використовувати у 3D-принтерах, які мають закритий корпус.



Рис. 4. Індуктивний датчики

Цікавим застосуванням, як кінцевий вимикач у 3D-принтері, є так звані індуктивні датчики (рис. 4.). Вони можуть бути різної форми, як правило безконтактної дії, призначені для контролю положення об'єктів з металу. Принцип дії базується на використанні спеціального генератора, який видає певну амплітуду коливань. Коли в поле дії агрегату потрапляє об'єкт, що складається з металу, коливання починають змінюватися, що і сигналізує про наявність предмета. На початку роботи на кінцевий вимикач подається живлення, що сприяє утворенню магнітного поля. Саме воно впливає на вихрові струми, які, у свою чергу, змінюють амплітуду коливань у генераторі, що працює. Як результат всіх цих перетворень є отримання вихідного сигналу, який може змінюватись, залежно від відстані

між працюючим датчиком і предметом, що відслідковується. Потім за допомогою спеціального пристрою аналоговий сигнал перетворюється на логічний та передається на плату контролю. Такі індуктивні датчики не бояться високої вологості повітря, пилу і вібрації. Як недолік можна віднести те, що спрацьовують при наближенні металу певного розміру. Деякі можуть спрацьовувати на наближення кольорових сплавів, але відстань виявлення буде суттєво зменшуватися.

#### **Список використаних джерел:**

1. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А. Кінцевий вимикач осі Z 3D-принтер. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К.: КНУБА, 2020. – Вип. 96. – С. 22-27. – DOI: 10.32347/gbdmm2020.96.0301  
Режим доступу: <http://gbdmm.knuba.edu.ua/issue/view/14069>.
2. Носаченко М.С., Шаленко В.О., Маслюк А.А. Датчики автоматичного вирівнювання стола 3D принтера. // Збірник тез доповідей 75-ї всеукраїнської науково-практичної студентської онлайн-конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн» (1–2 квітня 2021 року). – К.: НУБІП України, 2021. – С. 195, 196. – Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/zbirnik.pdf>.
3. Електронний інтернет ресурс. Індуктивні датчики: призначення і принцип роботи. Режим доступу: <https://vikna.if.ua/cikavo/127807/view>.
4. Електронний інтернет ресурс. Як працює щілинний оптичний датчик: принцип роботи та застосування. Режим доступу: <https://kozak.zapisi.cx.ua/ukraincyam/yak-pracyuie-shhilinniy-optichniy-datchik-princip-roboti-ta-zastosuvannya.html>.

УДК 681.6

### **СУЧАСНІ ВИДИ 3D-ДРУКУ МЕТАЛОМ**

*Яцюк Є.П. – студент*

*Наукові керівники – Шаленко В.О., к.т.н., доц., Корнійчук Б.В., к.т.н., доц.*

*Маслюк А.А., асист.*

***Київський національний університет будівництва і архітектури***

Широке застосування технології 3D-друку з пластику на сьогодні займає широке та різноманітне застосування у нашому житті. Вона надає можливість



друкувати різноманітні деталі та вузли механізмів різної складності. Принцип такого друку закладається в тому, що екструдер розплавляє пруток пластику до пластичного стану. Проходячи шар за шаром, піднімаючись у гору, пластик з кожним шаром охолоджується і будує виріб.

З часом сама ідея друку надихнула вчених про застосування такої технології у сфері друку металу. На сьогодні набуває широкого застосування лазерний 3D-друк на основі технологій SLM та DMLS. У основі цих технологій лежить лазерне плавлення різних металевих порошків.

Це відбувається за допомогою пошарового нанесення й подальшого плавлення порошку металевих сплавів за математичними CAD-моделями з використанням в якості джерела випромінювання волоконних лазерів високої потужності. Перевагами такої технології є висока точність друку стінок товщиною до 0,3 мм і точністю геометрії поверхні 0,1 мм. Можливість друкувати деталі з пустотілими стінками, що неможливо при застосуванні традиційними технологіями. Ця технологія має велике майбутнє.

Ще однією цікавою можливістю 3D-друку є так звана технологія наплавки металом. Принцип тут схожий що і у 3D-принтері який друкує пластиком. Застосовується метод напівавтоматичного зварювання відомий як MIG-MAG. Матеріалом для друку виступає металевий пруток. У процесі друку пруток надходить в спеціальний пальник і одночасно туди потрапляє захисний активний або інертний газ.

Під дією горіння дуги метал наплавляється шар за шаром рухаючись догори і друкує деталь. До переваг цієї технології можна віднести швидкість друку і готовий кінцевий продукт, який у подальшому може мати меншу кінцеву постобробку деталі. Н

едоліками є складний процес програмування друку, не існує кінцевого програмного забезпечення для таких 3D-принтерів. Ця технологія потребує більш ретельного вивчення і технологічного вдосконалення.

#### **Список використаних джерел:**

1. Шаленко В.О., Маслюк А.А., Якименко С.Л. Складний 3D друк моделей з пластику. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної онлайн конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України», присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіП України, 2021. – С. 65. – Режим доступу: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/zbyrnik\\_tez.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/zbyrnik_tez.pdf).
2. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А. Лазерний 3D друк металевими порошками. // Збірник тез доповідей X Міжнародної

науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 23-24 лютого 2023 р. – Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2023. – С. 495-497. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1RroWpQAqCfFEFjiewbSxTdPMUEy6YTWo/view>.

3. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А., Попроцька О.Д. Застосування лазерної технології у обробці металів. // LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: Національний транспортний університет, 2021. – С. 34. – Режим доступу: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>.

УДК 621.921

## **МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО 3D-ДРУКУ МЕТАЛІВ**

*Яцюк Є.П. – студент*

*Наукові керівники – Шаленко В.О., к.т.н., доц., Корнійчук Б.В., к.т.н., доц.,  
Маслюк А.А., асист.*

### ***Київський національний університет будівництва і архітектури***

Швидкі темпи розвитку 3D-друку металом по технології SLM та DMLS на сьогодні набувають все більшого застосування у виготовленні різноманітних деталей. Принцип друку базується на спіканні гранул металевих порошків, тому для друку можливо використовувати різноманітні металеві порошки. Серед цікавих металевих порошків можна відмітити:

- Порошок алюмінієвого сплаву – поєднання у таких порошках кремнію та магнію дозволяє алюмінієвим сплавам мати більш високу міцність і жорсткість, що робить його придатним для тонкостінних і складних виробів. Алюмінієві сплави є найбільш використовуваним класом кольорових конструкційних матеріалів з високою міцністю, наближеною до високоякісної сталі або перевершуючи її, і хорошою пластичністю.
- Порошок кобальт-хромового сплаву – деталі набувають відмінної зносостійкості та корозійної стійкості. Завдяки цьому такий порошок використовується для друку різних штучних суглобів та ортопедичних імплантатів, а також використовується в галузі стоматології.

- Порошок мідного сплаву – завдяки відмінній тепло- та електропровідності застосовуватися у програмах керування теплом для створення складних внутрішніх структур каналів охолодження.
- Порошок титанового сплаву – широко використовується в аерокосмічній галузі. Переваги 3D-друку дозволяють отримувати твердий корпус та складну структуру, це дозволяє отримати меншу вагу та кращі механічні властивості. Це може не тільки знизити витрати, але й полегшити виробництва кожного компонента.
- Порошок нікелевого сплаву – дозволяє отримати стійкість до окислення та корозійну стійкість. Нікель сприяє стійкості при високій температурі та високому тиску поверхні стінок деталей. При цьому зберігаються механічні властивості у широкому діапазоні температур.

Таке різноманіття видів порошків для 3D-друку дозволяє реалізовувати складні технічні рішення у медичній, космічній, авіаційній, військовій, автомобільній промисловості.

#### **Список використаних джерел:**

1. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А. Лазерний 3D друк металевими порошками. // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 23-24 лютого 2023 р. – Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2023. – С. 495-497. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1RroWpQAqCfFEFjiewbSxTdPMUEy6YTWo/view>.
2. Електронний інтернет ресурс. Металеві порошки. Режим доступу: <https://www.widerangemetals.com/uk/aluminium-metal-powders>.
3. Шаленко В.О., Корнійчук Б.В., Маслюк А.А., Попроцька О.Д. Застосування лазерної технології у обробці металів. // LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: Національний транспортний університет, 2021. – С. 34. – Режим доступу: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>.

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

*Дяченко О.Б. – магістр  
Науковий керівник – Новицький А.В., к.т.н., доц.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В міжнародній практиці експлуатації машин та обладнання термін «технічний сервіс» розуміють як комплекс послуг, які надають споживачеві в придбанні, ефективному використанні та підтримці в працездатному стані протягом усього терміну використання, а також утилізації після закінчення терміну служби. Вказаний термін тісно включає «Систему технічного обслуговування і ремонту», що набув широкого поширення в нашій країні. Згідно з ДСТУ 9050:2020 під системою технічного обслуговування і ремонту розуміють сукупність взаємопов'язаних засобів, документації та виконавців, необхідних для підтримання і відновлення якості виробів [1].

Система технічного сервісу регламентує види і зміст ремонтно-обслуговуючих впливів (РОВ), їх трудомісткість і періодичність. Різні моделі обслуговування машин та обладнання описуються відповідними стратегіями технічного сервісу – тривалими орієнтуваннями з планування, організації та управління технічними діями, що за певних умов роботи та за заданого рівня експлуатаційної надійності технічних систем, забезпечують мінімальні трудові і матеріальні витрати на підтримання їх у працездатному стані. Для забезпечення працездатності мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) в аграрній сфері, використовують три основні стратегії СТОР (Системи технічного обслуговування і ремонту):

- стратегія С<sub>1</sub> «За потребою після відмови»;
- стратегія С<sub>2</sub> «Регламентована в залежності від напруження»;
- стратегія С<sub>3</sub> «За станом з періодичним або безперервним контролем».

Застосування тієї чи іншої стратегії зумовлюється великою кількістю чинників, таких як [2]: безвідмовність МЕЗ; насиченість парку МЕЗ; вартість МЕЗ; терміновість виконання сільськогосподарських робіт; розвиненість системи технічного сервісу; наявність і вартість сучасних засобів діагностування МЕЗ; рівень підготовки кадрів операторів і працівників сервісної служби.

Кожній із представлених стратегій характерні переваги та недоліки. Стратегія  $C_1$  характеризується мінімальними затратами праці та коштів на утримання сервісної служби, повне використання ресурсу машин, обладнання та їх структурних елементів. Однак застосування цієї стратегії не забезпечує належної експлуатаційної надійності, що призводить до збільшення кількості простоїв машин з технічних причин і пов'язаних із ними втрат.

Найпоширенішою в нашій країні є стратегія  $C_2$ , що зумовлено її універсальністю, простотою контролю, ефективністю групових рішень. Зазначена стратегія забезпечує можливість отримання позитивних результатів за умов обслуговування техніки великих аграрних підприємств. До недоліків стратегії  $C_2$  відносять значні витрати на ТО і ремонт.

Стратегія  $C_2$  поступово поступається місцем стратегії  $C_3$ , але її широке застосування обмежується відсутністю доступних методів і засобів діагностування. До недоліків наявної нині в Україні СТОР, крім застарілих методів і засобів ТО і ремонту, відносять і те, що вона не враховує специфіки функціонування дилерських технічних центрів, які з'явилися останнім часом та оснащені діагностичним обладнанням. Крім того, при  $C_3$  не повною мірою визначено структуру і місце електронної сервісної інформації при організації заходів технічного сервісу машин та обладнання аграрних підприємств.

В умовах фізично і морально застарілого парку МЕЗ, а також застосовуваних існуючих методів і засобів діагностування, вимоги до експлуатаційних властивостей, надійності та ефективності їх функціонування все частіше не можуть бути задоволені за допомогою відомих стратегій технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Тому питання вдосконалення організації технічного сервісу МЕЗ в агропромисловому комплексі є надзвичайно актуальними та першочерговим завданням [3].

#### **Список використаних джерел:**

1. Система технічного обслуговування та ремонту техніки. Терміни та визначення понять: ДСТУ 9050:2020. – [Чинний від 2021-04-01]. К.: Технічний комітет стандартизації «Система розробки та постановки продукції на виробництво», 2021. – 25 с.
2. Ружило З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016, Вип. 2. С. 223–231.
3. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 2021, 12 (2), pp. 39–47. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85179946633&origin=resultlist>.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПОДРІБНЮВАЧІВ**

*Миколенко А.О. – магістр  
Науковий керівник – Новицький А. В., к.т.н., доц.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В останні роки актуальною стає проблема ефективного використання кормів [1, 3]. Необхідні передумови включають: удосконалення технологій приготування кормів та годівлі; застосування та використання нових або раніше використаних кормових культур; удосконалення існуючих та розробка новітніх машин і засобів механізації для приготування кормів.

Важливо відзначити застосування і розробку універсальних машин, які призначені для обробки різноманітних видів кормів для різних груп тварин. Найпоширенішими серед них є дробарки молоткового типу, що працюють за принципом удару. Технологія використання дробарок молоткового типу відома давно і використовується активно в багатьох країнах та галузях [2, 3]. Машини молоткового типу зручні у використанні, багато з них легко піддаються технічному обслуговуванню та ремонту. Вивченню процесів подрібнення в дробарках молоткового типу присвячено цілий ряд наукових робіт як вітчизняних, так і зарубіжних вчених [2, 4, 5].

Незважаючи на всі переваги, дробарки молоткового типу мають ряд суттєвих недоліків: нерівномірний гранулометричний склад за різних модулів помелу; різну кількість пилоподібної фракції. Дослідженнями встановлено, що за тонкого помелу – до 30% пилоподібної фракції, а за грубого в кінцевому продукті помелу – до 20% неподрібненого зерна. Переподрібнення призводить до невиправданих витрат електроенергії. Крім того, зайва кількість пилоподібної фракції може призвести до захворювань травного тракту тварин.

На сучасному етапі розвитку техніки в галузі подрібнення кормових культур проблема створення енергоресурсо зберігаючих машин, які працюють за принципом «зріз сколюванням» і дають змогу отримати продукт помелу, що відповідає зоотехнічним вимогам, залишається актуальною.

У зв'язку з тенденцією зменшення поголів'я худоби на приватних подвір'ях, яка пов'язана з подорожчанням кормів, важливим є питання розроблення малогабаритних подрібнювачів. Удосконалення робочих органів

вже наявних знарядь, розроблення конструкторсько-технічної документації, що містить конструктивну схему відцентрово-роторного подрібнювача, який працює за принципом «зрізу сколюванням» є актуальним завданням.

#### **Список використаних джерел:**

1. Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M.G. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): An up to date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), article number 4319. doi: 10.3390/s22124319.
2. Revenko Ivan, Khmelovskyi Vasyi, Revenko Yulii, Rebenko Victor, Potarova Svitlana (2023). Justification of parameters affecting increase of hammer crusher productivity. *Engineering for rural development*. 24-26.05.2023 Jelgava. pp. 714-720.
3. Novitskyi A. V., Banniy, O. O, Novitskyi Yu. A., Antal, M. V. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), 101–110. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101>.
4. Бойко А. І., Новицький А. В. Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. К.: НАУ, 1997. Т. III. С. 6–8.
5. Бойко, А. І., Новицький А. В., Морозовська З. А. Аналіз конструктивних рішень решіт зернодробарок, направлених на підвищення їх довговічності. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК* 196 (2) (2014): 165-172.

УДК 621.873

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМОМ ЗМІНИ ВИЛЬОТУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА**

*Бутков М.О. – магістр*

*Науковий керівник – Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Розробка системи керування механізмом повороту роботизованого баштового крана є важливим напрямком в сучасній індустрії будівництва та вантажоперевезень. Оптимальне керування поворотом крана дозволить автоматизувати та оптимізувати процеси руху вантажів на будівельних майданчиках і у портах. Розробка такої системи включає в себе проектування

механічних та програмних компонентів, спрямованих на точне позиціонування та керування кутом повороту крана. Впровадження ефективної системи керування сприятиме підвищенню продуктивності роботи крана, зменшенню часу виконання операцій та забезпечить безпеку та надійність у вантажних операціях.

Доці I., Lajqi S. провели дослідження динамічного аналізу і регулювання за допомогою схематичного моделювання під час обертального руху баштового крана. Rashid M., Alamgir T. у своєму дослідженні в поворотну кранову систему реалізували техніку геометричних вхідних даних, техніку згортання імпульсних послідовностей, поєднання геометричних вхідних сигналів з командним сигналом системи. Потім результат згортки використовується як еталонна команда для керування системою. Для цього використали плату DAQ і програмне забезпечення MATLAB. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Кадикало І.О виконали оптимізацію перехідних режимів руху (пуск і гальмування) за одиничними та комплексними критеріями, що покращило ефективність роботи через зменшення динамічних навантажень, результати були підтверджені на лабораторній установці. Jianfeng H. і Qing C. базуючись на двох методах нелінійного керування, що складаються з лінеаризації часткового зворотного зв'язку та керування режимом ковзання, спроектували PLC контролери у випадку складної роботи крана, у якій розглядається комбінація переміщення візка та обертання вежі. Отже, розробка ефективної системи керування поворотом баштового крана є важливою задачею, яка може значно покращити продуктивність, точність та безпеку роботи крана.

#### **Список використаних джерел:**

1. Doçi I., Lajqi S. Rotational motion of tower crane - dynamic analysis and regulation using schematic modeling. Faculty of Mechanical Engineering – University of Prishtina, Kosovo, 2018, 5p. URL: <https://stumejournals.com/journals/mm/2018/1/21.full.pdf>(= (дата звернення 25.04.24)
2. Rashid M., Alamgir T. Design and development of controller of a rotary crane system. Computer and Communication Engineering (ICCCE), IEEE, 2012. URL:[https://www.researchgate.net/publication/261312640\\_Design\\_and\\_development\\_of\\_controller\\_of\\_a\\_rotary\\_crane\\_system](https://www.researchgate.net/publication/261312640_Design_and_development_of_controller_of_a_rotary_crane_system) (дата звернення 25.04.24)
3. Оптимізація режиму повороту стрілового крана. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич., І.О. Кадикало – К.: ЦП „КОМПРІНТ”, 2021. – 272 с. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ff23f8c8-8b84-4e8a-b401-811851e63e0e/content> (дата звернення 25.04.24)



4. Jianfeng Huang and Qing Chen "Design of automatic control system for tower crane based on PLC", Proc. SPIE 12922, Third International Conference on Electronics, Electrical and Information Engineering (ICEEIE 2023). URL: <https://doi.org/10.1117/12.3008708> (дата звернення 25.04.24)

УДК 514.18

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОТА З ОДНІЄЮ ПОСТУПАЛЬНОЮ І ДВОМА ОБЕРТАЛЬНИМИ ЛАНКАМИ**

*Лук'яненко А.А. – магістр*

*Наукові керівники – Ловейкін В.С., д.т.н., проф., Крушельницький В.В., к.т.н.*

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

У сучасному світі, де автоматизація стає рушійною силою прогресу, роботи-маніпулятори посідають все більш значуще місце. Їхні можливості сягають від звичних завдань у виробництві до складних медичних операцій, роблячи їх незамінними помічниками в різних сферах життях[1].

Оптимізація режимів руху роботів-маніпуляторів має вирішальне значення для їх ефективної та продуктивної роботи. Загалом, оптимізація режимів руху роботів-маніпуляторів є ключовим фактором, що робить їх більш ефективними, продуктивними, точними, безпечними, енергоефективними та гнучкими.

Одним із способів оптимізації руху робота описано в статті Dechao Chen et.al 2020 [2]. Він полягає в стабілізації точок захоплення маніпулятора під час виконання програмованих дій. Для стабілізації положення маніпулятора пропонувався метод налаштування пропорційної та диференційної частини багатовимірного ПД-регулятора, що базується на оригінальному підході з невизначеними коефіцієнтами. Для усунення статичної похибки було запропоновано використати метод Девісона для налаштування інтегральної частини ПД-регулятора. В результаті теоретичного дослідження зазначається, що цей метод дозволяє точно та швидко стабілізувати положення захоплення маніпулятора в точках програмованого руху. є універсальним і його можна використовувати для для стабілізації режимів роботи інших технічних об'єктів та технологічних процесів. Ще один метод оптимізації описаний в статті Al-Dujaili A. Q. et al. 2022 [3] де, для визначення оптимальних параметрів алгоритму STSMC (Оптимальне керування методом

суперковзання), який пропонується для керування роботом-маніпулятором, використовується не метод проб та помилок, а сучасні оптимізаційні техніки на основі алгоритмів рою часточок (PSO) та пошуку гармонійної вібрації (SSO). В результаті було проведено порівняльне дослідження алгоритмів PSO та SSO. Результати комп'ютерного моделювання та лабораторних досліджень показали, що PSO забезпечує кращу динамічну продуктивність та стійкість до збурень, ніж SSO. В статті Varessi Šegota S. et al. 2020 [4] розглянуто оптимізацію за критерієм зниження навантаження на суглоби 6-ти осьового робота-маніпулятора під час виконання траєкторії руху, що призводить до меншої затрати енергії та зносу робота. Розглянуто два випадки: один робот-маніпулятор переміщує вантаж по траєкторії "точка-точка" і два роботи-маніпулятори, які співпрацюють і переміщують той самий вантаж по розрахованій траєкторії "точка-точка". У цій статті використовуються еволюційні обчислювальні алгоритми для оптимізації траєкторій руху робота-маніпулятора. Для оптимізації застосовуються три еволюційні алгоритми: генетичний алгоритм (GA), імітований відпал (SA) та диференційна еволюція (DE). Дослідження показало, що найкращі результати щодо мінімізації зусиль на суглобах забезпечує генетичний алгоритм (GA), особливо з випадковим схрещуванням для одиночного робота та із середнім схрещуванням для двох співпрацюючих роботів. Диференційна еволюція (DE) також показала добрі результати. Імітований відпал (SA) дав найслабші результати щодо мінімізації зусиль, але забезпечив більш плавні криві навантаження. Стаття Huang Y., Fei M. 2018 [5] звертає увагу на оптимізацію руху маніпулятора не за одним параметром, а декількома (швидкість виконання завдання, загальна довжина траєкторії, плавність руху). Для подібної багатоцільової оптимізації планування траєкторії руху робота-маніпулятора розглядає покращений алгоритм NSGA-II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II), що дозволяє знайти набір Парето-оптимальних рішень, які є оптимальними за всіма цілями одночасно. Для покращення розподілу Парето-оптимальних рішень в статті розглядають покращений механізм розрахунку crowding distance (відстань заповнення) в алгоритмі NSGA-II. В результаті запропонований метод при перевірці на імітаційних моделях показав, що співвідношення між витраченим часом і ривком суглоба є пріоритетним рішенням для практичного інженерного вибору.

#### **Список використаних джерел:**

1. Роботи і маніпулятори. Підручник/ Д.О. Міщук. - К.: Компрінт, 2020.
2. Stenin A. et al. Stabilization of positioning points in the control system of industrial robots-manipulators. – 2022.

3. Al-Dujaili A. Q. et al. Optimal super-twisting sliding mode control design of robot manipulator: Design and comparison study //International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2020. – Т. 17. – №. 6. – С. 1729881420981524.
4. Baressi Šegota S. et al. Path planning optimization of six-degree-of-freedom robotic manipulators using evolutionary algorithms //International journal of advanced robotic systems. – 2020. – Т. 17. – №. 2. – С. 1729881420908076.
5. Huang Y., Fei M. Motion planning of robot manipulator based on improved NSGA-II //International Journal of Control, Automation and Systems. – 2018. – Т. 16. – С. 1878-1886.

УДК 621.873

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОТА З ОДНІЄЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ І ДВОМА ПОСТУПАЛЬНИМИ ЛАНКАМИ**

*Каленіченко Б.В. – магістр*

*Науковий керівник – Ловейкін В.С., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Роботи з однією обертальною і двома поступальними ланками (ОДПЛ) широко використовуються в різних галузях промисловості, зокрема в машинобудуванні при автоматизації технологічних процесів, логістичних операціях тощо. Їхніми основними перевагами є простота конструкції, висока точність позиціонування та широкий спектр можливих рухів.

Ефективність роботи роботів з ОДПЛ значною мірою залежить від режимів їхнього руху. Оптимізація режимів руху дозволяє покращити такі характеристики роботи робота, як швидкодія, точність позиціонування, енергоефективність та надійність.

Розробка методів оптимізації та дослідження режимів руху роботів з ОДПЛ є актуальною науково-технічною задачею, яка має значний вплив на ефективність виробництва.

Метою даної роботи є розробка оптимальних режимів руху роботів з ОДПЛ з використанням таких критеріїв, як тривалість руху, енергоспоживання, динамічна складова потужності приводних механізмів, точність позиціонування та інші.

У статті [1] пропонується метод енергоефективної оптимізації траєкторії для роботів ОДПЛ. Метод використовує динамічну модель робота та алгоритм

генетичної оптимізації для пошуку траєкторії, яка мінімізує енергоспоживання з урахуванням обмежень на час виконання завдання та точність позиціонування.

Робота [2] описує метод багатоцільової оптимізації режимів руху для роботів ОДПЛ. Метод використовує метод інтегрованого планування та прийняття рішень для оптимізації декількох критеріїв, таких як час, енергоспоживання та точність.

Стаття [3] пропонує метод планування руху для роботів ОДПЛ на основі генетичного алгоритму. Метод використовує генетичний алгоритм для пошуку траєкторії, яка мінімізує час виконання завдання з урахуванням обмежень на точність позиціонування.

Робота [4] описує метод енергоефективного планування руху для роботів ОДПЛ на основі навчання з підкріпленням. Метод використовує алгоритм навчання з підкріпленням для пошуку політики, яка мінімізує енергоспоживання робота під час виконання завдання.

Праця [5] пропонує метод планування руху в режимі реального часу для роботів ОДПЛ з акцентом на енергоефективність. Метод використовує динамічне програмування для пошуку траєкторії, яка мінімізує енергоспоживання з урахуванням обмежень на час виконання завдання та точність позиціонування.

Дослідження [6] описує огляд методів енергоефективного планування руху для роботів. Огляд охоплює різні методи, такі як оптимізація траєкторії, багатоцільова оптимізація, планування на основі генетичних алгоритмів, навчання з підкріпленням та планування в режимі реального часу.

Розробка оптимальних режимів руху роботів з ОДПЛ та їх дослідження є важливим науково-технічним завданням, яке має значний практичний потенціал машинобудівного та інших видів виробництва. Результати запропонованої магістерської роботи можуть бути використані для покращення динамічних та енергетичних характеристик роботів та маніпуляторів з ОДПЛ, а також підвищення їхньої ефективності.

#### **Список використаних джерел:**

1. Jianwei Xu, Wei Sun, and Bing Yao. Energy-Efficient Trajectory Optimization for Single-Rotational and Double-Prismatic Link Robot Manipulators" (<https://d-nb.info/1230322957/34>)
2. обмежень на час виконання завдання та точність позиціонування.
3. Jing Wang, Wei Sun, and Bing Yao. Multi-objective Optimization of Motion Modes for Single-Rotational and Double-Prismatic Link Robots (<https://ieeexplore.ieee.org/iel7/9981026/9981028/09982094.pdf>)
4. Yue Li, Jianyou Zhao, Zenghua Chen, Gang Xiong, Sheng Liu. A Robot Path Planning Method Based on Improved Genetic Algorithm and Improved

- Dynamic Window Approach" (<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4656>)
5. Kazuki Nonoyama, Ziang Liu, Tomofumi Fujiwara, Md Moktadir Energy-Efficient Robot Configuration and Motion Planning Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization" (<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2074>)
  6. Deval Shah, Ningfeng Yang, and Tor M. Aamodt. Energy-Efficient Realtime Motion Planning (<https://people.ece.ubc.ca/aamodt/publications/papers/shah.isca2023.pdf>)
  7. Jing Wang, Wei Sun, and Bing Yao. A Survey of Energy-Efficient Motion Planning for Robots" (<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IR-03-2020-0063/full/html>)

УДК 621.873

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА**

*Закревський Б.В. – магістр*

*Науковий керівник – Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

В наш час розробка систем керування механізмом підйому вантажу роботизованого баштового крана є важливим напрямком розвитку будівництва та пов'язаних з ним процесів. Оптимальний підйом вантажу відкриває можливість до автоматизації процесу переміщення вантажів на будівництві. Процес розробки містить в собі проектування як механічних складових, так і програмних методів, спрямованих на точне позиціонування вантажу в просторі.

Проаналізуємо вже готові публікації наукових статей.

Dutta, S. спробував розробити модуль для системи проектування підйому, що буде повторно планувати шлях та траєкторію, яким рухається вантаж майже в реальному часі.

Kovalenko V., Kovalenko O., Stryzhak V., Stryzhak M, Vöth S. провели обчислення енергії параметрів баштового крана використовуючи частотно регульований привідний механізм.

Trivedi P., Shah U. розробили та проаналізували концепцію підйомного механізму із використанням електродвигуна з постійним магнітом.

S. Roysson, T. A. Sitompul, R. Lindell використали штучну нейронну мережу для передбачення максимальної маси вантажу в залежності від вильоту стріли в реальному часі.

Preethika AS., Sneha C., Vaishnavi K., Durga Devi D. показали, що можна провести автоматизацію крана використовуючи штучну нейронну мережу та машинне навчання, а також керувати ним за допомогою безпроводного інтерфейсу.

Отже, розробка ефективної системи керування механізмом підйому баштового крана є комплексною задачею, рішення якої значно вплине на роботу крана та на все, що з ним зв'язане.

#### **Список використаних джерел:**

1. Dutta, S. (2022). Intelligent lift motion planning for autonomous tower cranes in dynamic BIM environments. Nanyang Technological University, Singapore. URL: <https://hdl.handle.net/10356/155999> (дата звернення 26.04.24)
2. V. Kovalenko, O. Kovalenko, V. Stryzhak, S. Vöth, M. Stryzhak (2023). Evaluation of Dynamic and Energy parameters of a Tower Crane with a Frequency-Controlled Drive. National Technical University, Technische Hochschule Georg Agricola, Deutschland. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439004005> (дата звернення 26.04.24)
3. P.K.Trivedi, U.V.Shah, (2023). Design and Analysis of Permanent Magnet Direct Drive for hoist of EOT Crane, Industrial Engineering Journal. URL: [https://s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/gtusitecirculars/uploads/Final%20Synopsis%20\(4\)\\_888207.pdf](https://s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/gtusitecirculars/uploads/Final%20Synopsis%20(4)_888207.pdf) (дата звернення 26.04.24)
4. S. Roysson, T. A. Sitompul, and R. Lindell, Using Artificial Neural Network to Provide Realistic Lifting Capacity in the Mobile Crane Simulation, published in Proceedings of the 22nd Engineering Applications of Neural Networks Conference, edited by L. Iliadis, J. Macintyre, C. Jayne, and E. Pimenidis, 2021. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80568-5\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80568-5_37) (дата звернення 26.04.24)
5. Preethika AS., Sneha C., Vaishnavi K., Durga Devi D. Industrial Crane Automation Using Cloud with Artificial Intelligent and Machine Learning, International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT), Volume 12, Issue 2, December 2021 URL: <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-2313> (дата звернення 26.04.24)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРА

*Пересада О.В. – студент*

*Науковий керівник – Кульпін Р.А., асист.*

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

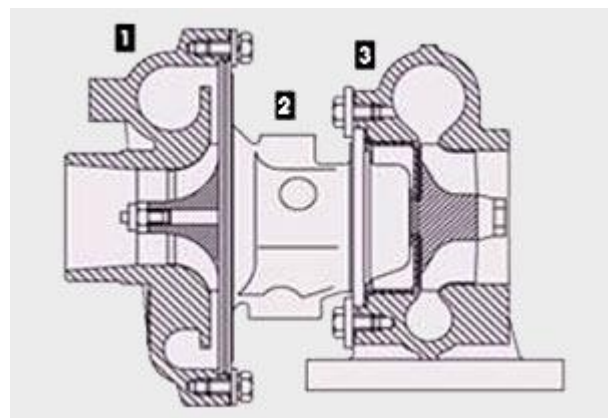
До сучасних поршневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) пред'являються високі вимоги економічності і екологічності. Для їх дотримання застосовується форсування методом газотурбінного наддуву, яке за останній час набуло широкого поширення і розвиток.

Двигуни з системою газотурбінного наддуву встановлюються на більшість видів техніки сільськогосподарського призначення (трактори, комбайни, самохідна техніка). Незважаючи на сучасний розвиток машинобудування, довговічність систем наддуву залишається низькою.

Найменш надійними з вузлів являється турбокомпресор, який в процесі експлуатації піддається зносу. Турбокомпресор являє собою пристрій, що приводиться в рух за рахунок використаної кінетичної і теплової енергії вихлопних автомобільних газів. За допомогою енергії з великою швидкістю обертається колесо турбіни, яке розташоване на загальному валу компресора (рис. 1). Основними ознаками відмов і несправностей турбокомпресора є: значне зниження потужності двигуна; виділення чорного або фіолетового диму з вихлопної труби; збільшення споживання моторної оливи; характерний шум при функціонуванні пристрою.



а)



б)

Рисунок – 1 а - турбокомпресор ТКР; б - будова турбокомпресора: 1- корпус компресора; 2 - вузол підшипників; 3 - корпус турбіни

Причини відмови турбокомпресора наступні.

1. Забруднена олива призводить до задирів, канавок. Вал і центр корпусу зазвичай пошкоджуються трохи менше, будучи більш твердими матеріалами.

2. Недостатнє мащення. Мінімальна кількість оливи або ж її повна відсутність виникає зазвичай в місцях, де зменшується її подача на турбіну. Це може бути викликано блокуванням доступу оливи прокладними матеріалами. Недостатнє мащення візуально можна визначити по знебарвленню валу і його шийки.

3. Режим граничної експлуатації. Типове пошкодження при експлуатаційному режимі в умовах підвищених температур – це нагар оливи на опорній шийці валу або його закоксування.

Згідно комплексного підходу до ремонту турбокомпресорів в кожному конкретному випадку буде генеруватися індивідуальна технологія, що враховує значення величин геометричних параметрів і дефектного вузла. Маршрут відновлення деталі це виявлення таких дефекти, які визначаються їх взаємозв'язком, єдністю технологій відновлення. Розробка маршрутної технології відновлення деталей включає:

- визначення поєднання дефектів, які входять в кожний маршрут;
- обґрунтування кількості маршрутів і присвоєння кожному з них номера;
- вибір способів ліквідації окремих дефектів за кожним з маршрутів;
- розробка схеми технологічного процесу ліквідації кожного дефекту окремо;
- складання плану технологічних операцій в найбільш раціональній послідовності.

Пристрої і інструменти вибирають в залежності від прийнятої технологічної схеми ремонту турбокомпресора. Критерієм для цього служить програма підприємства по даному виду виробу і точності, яку слід одержати на даній операції з розрахунком похибки установки і закріплення деталі.

Вимірювальні засоби вибирають в залежності від величини допуску на посадочний розмір, точності, форми поверхні, що обробляється, та інших контрольних параметрів деталі, що підлягає ремонту. На основі вищесказаного вибираємо обладнання, технологічну оснастку та вимірювальний інструмент.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРА

*Сябрук М.С. – студентка*

*Науковий керівник – Новицький А.В., к.т.н., доц.*

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

Наукове забезпечення працездатності машин та обладнання переробної промисловості виконували цілий ряд науково-дослідних інститутів та організацій, де розробляли нові машини, устаткування і технології, удосконалювали методи і засоби технічного обслуговування та ремонту. Вони дали змогу створити ефективну систему технічного обслуговування і ремонту, розв'язати методичні підходи до управління надійністю машин та обладнання переробної промисловості [1, 2].

Попередній аналіз показав, що більшість науковців досліджували переважно питання надійності та ефективності експлуатації машинно-тракторного парку, організацію технічного обслуговування і ремонту (ТОР) машин, а також відновлення зношених деталей. Щодо організації технічного обслуговування машин та обладнання переробної промисловості опублікованих робіт ще не багато [1, 2].

Відповідно до наукових рекомендацій, на переробних підприємствах питаннями технічного обслуговування та ремонту займалися інженерні служби та відділи головних механіків. Організація технічного обслуговування (ТО) обладнання переробних підприємств була побудована на науковій основі та інженерно-економічних розрахунках. Розрахунок проводили, виходячи з обсягу і номенклатури ремонтно-технічних робіт, з використанням нормативів потреби в запасних частинах та ремонтних матеріалах, нормативів витрат праці та заробітної плати [3].

Методика інженерного розрахунку організації ТОР передбачала наступне: обґрунтовувався склад технологічного обладнання переробного підприємства за даними інженерної служби; визначався обсяг ремонтно-обслуговуючих робіт (РОБ); розроблявся графік проведення планових ТОР; на базі технології проведення ремонтних робіт встановлювався склад технологічного обладнання для ТОР; обґрунтовувався склад обладнання та обсяг РОБ, розраховувалась необхідна кількість бригад, постів, персоналу

ТОР; розроблялась організаційна схема ТО і ремонту; виконувалось техніко-економічне обґрунтування організації і проведення ТОР.

#### **Список використаних джерел**

1. Система технічного обслуговування та ремонту техніки. Терміни та визначення понять: ДСТУ 9050:2020. – [Чинний від 2021-04-01]. К.: Технічний комітет стандартизації «Система розробки та постановки продукції на виробництво», 2021. – 25 с.
2. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016, Вип. 2. С. 223–231.
3. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 2021, 12 (2), pp. 39–47. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85179946633&origin=resultslist>

УДК 621.873

### **РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМОМ ЗМІНИ ВИЛЬОТУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА**

*Паламарчук В.О. – магістр*

*Науковий керівник – Ромасевич Ю.О., д.т.н., проф.*

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

Одним з найважливіших досягнень у портовому машинобудуванні є широке застосування візків з канатним приводом на кранах, особливо на причальних кранах. Причальні розвантажувачі суден і контейнерні крани, обладнані канатною тягою, можуть зменшити вагу візка приблизно вдвічі, що значно полегшує навантаження на сталеві конструкції та основу порту. Однак деякі спроби автоматичної модернізації кранів не дуже вдалі, оскільки динамічну модель такої системи складно сформулювати.

Проаналізувавши наукові джерела, було встановлено наступні спроби покращити систему переміщення візка. Khalid L. Sorensen [1] змодельював систему як візок з сингулярним маятником і ввів нелінійність щоб вирішити задачу. Kreuzer E. [2] створив модель з тензодатчиком на канаті в підйомних пристроях, і запропонував використати фільтр Калмана для уникнення

небажаного коливання вантажу. Pan Y. [3] дослідив теоретичну модель каната і двигуна, яка враховує гнучкість каната, в системі підйому контейнерного крана. Zrnic [4] спочатку змодельовав козловий кран як двомірну дискретну модель, що складається з головної балки, опорної ноги і зрізної ноги, а потім вивів динамічні рівняння структурних коливань і отримав реакції на поперечні і поздовжні коливання козлового крана під дією рухомої маси. Нарешті, він вивчив вплив швидкості візка, прискорення візка, структурного демпфування і жорсткості кабелю на вібрацію козлового крана. Xu J. [5] використовував регулятор другого порядку для позиціонування візка крана. Крім того, були проведені дослідження в суміжних галузях, таких як 3D-графічне та кінематичне моделювання причального крана, а також поведінка контролера на різних типах кранів.

Корисна модель [6] розкриває модель зміни вильоту, використовуючи візок з рейковою тягою. Вона складається з візка, напрямних коліс, візкової рейки, двох приводних шестерень, стійки та двох двигунів. Особливістю такої моделі є те, нижня частина візка являє собою рейку, яку, в свою чергу, переміщують шестерні, розташовані нижче на рамі, що керуються двома незалежними електродвигунами. Можна реалізувати безступінчасте регулювання швидкості тягового візка в певному діапазоні, уникнути зіткнення візків під час переміщення та усунути несприятливі фактори, спричинені зіткненням. Крім того, швидкість обертання двох шестерень підтримується синхронною, завдяки чому підвищується точність зачеплення шестерень і стійки, а термін служби механізму може бути значно продовжений.

Виходячи з припущень, що башта і контрстріла баштових кранів є жорсткими тілами, баштовий кран спрощено розглядається як система «вантаж-візок-стріла». За допомогою імітаційного моделювання та експериментів досліджено вплив динамічних параметрів на вібрацію стріли та розгойдування вантажу. Результати досліджень показують, що амплітуда коливань і період коливань стріли збільшуються зі збільшенням швидкості руху візка і маси вантажу. Амплітуда коливань вантажу збільшується з прискоренням руху візка, але прискорення візка не впливає на період коливань вантажу. Період розгойдування вантажу збільшується зі збільшенням довжини кабелю, але довжина кабелю не впливає на амплітуду розгойдування [7].

У більшості сценаріїв роботи баштових кранів вантаж коливається навколо гаків, що призводить до ефекту подвійного маятника. Це робить баштовий кран менш керованим і нелінійним, а отже, складнішим в керуванні. Щоб вирішити ці проблеми, було розроблено вдосконалений регулятор

відхилення активних збурень (I-ADRC). По-перше, запропоновано плавну та нелінійну функцію для зменшення високочастотних коливань системи в усталеному стані та уникнення явища «тремтіння». По-друге, побудовано новий тип розширеного спостерігача стану (ESO) для покращення динамічних характеристик системи. Потім доведено, що замкнена система є асимптотично стійкою за вдало підібраних параметрів, використовуючи критерій Гурвіца та метод Ляпунова. Результати чисельного моделювання показують, що запропонований регулятор має високу якість керування та високу стійкість [8].

В наступному дослідженні [9] запропонована схема, що сформульована на основі визначення внутрішньої моделі збурення, яка складається з поліноміальних і гармонічних компонентів, таким чином, щоб можна було створити розширеного спостерігача стану для забезпечення поліпшених оцінок станів системи і збурень. Було запропоновано закон керування, який забезпечує стійкість замкненої системи в умовах системної невизначеності, на основі робастної методології налаштування з набором LMI, що забезпечує продуктивність LQR. Крім того, ця пропозиція належним чином поєднує два типи внутрішніх моделей збурень, щоб забезпечити ширші можливості оцінки/відхилення збурень, а схема керування пропонується з робастною методологією налаштування для обробки параметричних невизначеностей, типових для систем баштових кранів.

В статті [10] представлено схему MPC (Model predictive control) для лабораторного баштового крана, що виконує рух вантажу за заданою траєкторією. Виходячи з геометричної траєкторії руху вантажу, було отримано відповідну множину нульової похибки траєкторії в просторі станів. Запропонований регулятор спрямований на відстеження множини помилок нульової траєкторії, а також на додаткове визначення часової еволюції вздовж шляху. Для цього було визначено допоміжну систему, яка описує часову еволюцію параметра траєкторії та його похідних. Керуючий вхід допоміжної системи визначався за MPC таким чином, щоб відхилення від нульового значення похибки траєкторії було якомога меншим. Для проектування схеми керування були прийняті існуючі уявлення про траєкторне керування, але сформульовані без термінальних обмежень. Це не тільки дозволяє врахувати обмеження системи, але й дає змогу застосувати швидку схему МНК на основі методу градієнтної проекції. У кожний момент часу дискретизації метод градієнтної проекції завершується після заздалегідь визначеної кінцевої кількості ітерацій, що гарантує реалістичність у реальному часі навіть при дуже малих часах дискретизації. Результати моделювання та експериментальних досліджень на лабораторному баштовому крані є багатообіцяючими і підкреслюють корисність запропонованого підходу.

Дослідження надійності підкреслюють обґрунтованість запропонованої концепції керування. Дана робота присвячена дослідженню питань стійкості та збіжності запропонованої схеми MPC (Model predictive control), що слідкує за траєкторією.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Sorensen K.L., Singhose W., Dickerson S., “A controller enabling precise positioning and sway reduction in bridge and gantry cranes”, *Control Engineering Practice*,(2007) Vol. 15(7), pp. 825-837
2. Kreuzer, E. , Pick, M.-A , Rapp, C , Theis, J. “Unscented Kalman Filter for real-time load swing estimation of container cranes using rope forces” *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, (2014), pp. 136 -140
3. Pan, Y., Liang, C., Liu, L. “The modeling of main hoist mechanism of quay container crane” *4th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII (2011)*, 3, pp.377-381
4. Zrnić, N.D., Bošnjak, S.M., Hoffmann, K. “Parameter sensitivity analysis of non-dimensional models of quayside container cranes”. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, (2010) vol.16 (2), pp. 145-160.
5. Xu, J., Chen, Q. “Modeling and optimal control of automated trolleys”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, (2009), pp. 710-713. <https://patents.google.com/patent/CN202754482U/zh>
6. Feng, R., Zhang, E. & Dong, M. Jib Vibration and Payload Swing of Tower Cranes in the Case of Trolley Motion. *Arab J Sci Eng* 46, 12179–12191 (2021). (<https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-021-05804-3>)
7. Kang, X., Chai, L. & Liu, H. Anti-swing and Positioning for Double-pendulum Tower Cranes Using Improved Active Disturbance Rejection Controller. *Int. J. Control Autom. Syst.* 21, 1210–1221 (2023), pp. 143-147. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-022-0123-7>)
8. Coral-Enriquez, H., Pulido-Guerrero, S. & Cortés-Romero, J. Robust Disturbance Rejection Based Control with Extended-state Resonant Observer for Sway Reduction in Uncertain Tower-cranes. *Int. J. Autom. Comput.* 16, pp.812–827 (2019)
9. M. Böck and A. Kugi, “Real-time nonlinear model predictive path-following control of a laboratory tower crane,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 22, no. 4, pp. 1461–1473, 2013.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ БПЛА

*Свізінський І.А. – магістр*

*Наукові керівники – Ловейкін В.С., д.т.н., проф., Ляшко А.П., к.т.н.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

### **Вступ.**

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого поширення в різних сферах, таких як моніторинг навколишнього середовища, доставка, картографування, сільське господарство та військова розвідка. Їхня ефективність значною мірою залежить від режимів руху, які вони використовують. Неоптимальні режими руху можуть призвести до надмірного споживання енергії, скорочення часу польоту, зниження точності виконання завдань, а також до ризиків зіткнення з перешкодами. [1]

Тому **актуальною** є задача оптимізації режимів руху БПЛА для досягнення максимальної ефективності їх роботи. [2, 3, 8, 9]

### **Огляд існуючих методів.**

Існує багато різних методів оптимізації режимів руху БПЛА. Деякі з найпоширеніших включають:

- **Класичні методи оптимізації:** Ці методи використовують математичні моделі динаміки польоту БПЛА для пошуку оптимальних траєкторій та швидкостей. До них належать динамічне програмування, лінійне програмування та нелінійне програмування. [4, 8, 9]
- **Евристичні методи:** Ці методи використовують знання про роботу БПЛА та середовище польоту для пошуку прийнятних рішень без гарантії їх оптимальності. До них належать жадібні алгоритми, алгоритми мурашиних колоній та генетичні алгоритми. [5, 8, 9]
- **Методи машинного навчання:** Ці методи використовують дані про польоти БПЛА для навчання моделей, які можуть прогнозувати оптимальні режими руху. До них належать методи навчання з підкріпленням та методи глибокого навчання. [6, 8, 9]

### **Результати досліджень.**

Дослідження в цій галузі призвели до значного прогресу в оптимізації режимів руху БПЛА. Класичні методи оптимізації можуть забезпечити оптимальні рішення для простих задач, але вони можуть бути обчислювально складними для складніших задач. Евристичні методи можуть знаходити

прийнятні рішення швидше, але вони не завжди гарантують оптимальність. Методи машинного навчання можуть бути дуже ефективними для складних задач, але вони потребують великих обсягів даних для навчання. [7, 9]

### **Висновок.**

Оптимізація режимів руху БПЛА є важливою задачею для покращення їх ефективності. Існує багато різних методів оптимізації, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Вибір методу залежить від конкретної задачі, доступних обчислювальних ресурсів та наявних даних.

### **Перелік використаних джерел:**

1. [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D1%96%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B%D1%96%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82#:~:text=remotely%20piloted%20vehicle%2C%20%D0%BD%D1%96%D0%BC.,%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%BF%D1%96%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%B9%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D1%96%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B%D1%96%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82#:~:text=remotely%20piloted%20vehicle%2C%20%D0%BD%D1%96%D0%BC.,%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%BF%D1%96%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%B9%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83.)
2. [https://www.researchgate.net/publication/350772769\\_ROZROBKA\\_METODU\\_OPTIMALNOGO\\_MARSRTU\\_POLOTU\\_BEZPILOTNOGO\\_LITANNOGO\\_APARATU\\_NA\\_OSNOWI\\_MURASINOGO\\_ALGORITMU](https://www.researchgate.net/publication/350772769_ROZROBKA_METODU_OPTIMALNOGO_MARSRTU_POLOTU_BEZPILOTNOGO_LITANNOGO_APARATU_NA_OSNOWI_MURASINOGO_ALGORITMU)
3. <https://ela.kpi.ua/items/2227b1b3-9fb5-4715-9bf8-e41797c52bc1>
4. <http://dspace.nbuu.gov.ua/handle/123456789/190358>
5. [https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/47729/1/%D0%A4%D0%9A%D0%9A%D0%9F%D0%86\\_2020\\_123\\_%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%9A%D0%9E.pdf](https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/47729/1/%D0%A4%D0%9A%D0%9A%D0%9F%D0%86_2020_123_%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%9A%D0%9E.pdf)
6. Роботи і маніпулятори. Підручник/ Д.О. Міщук. - К.: Компринт, 2020.- 268с.
7. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
8. Ловейкін В.С. Динаміка машин / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2013. – 227с.
9. Ловейкін В.С. Динаміка й оптимізація машин / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Р.В. Кульпін. - К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2020. – 267с.

## HIGH-RISE CONSTRUCTION IN THE THIRTIES IN NEW-YORK

*Bastylo Vladyslav – student*

*Supervisor – Bakulin Evgeniy, candidate of technical sciences, associate professor*

*National university of life and environmental sciences of Ukraine*

Skyscraper construction can't be real without invention of steel frame. Assembly of steel frame is most hard and most dangerous part of construction in the thirties 20<sup>th</sup> century. Precisely the quality and speed of steel frame construction determines whether the project will be implemented on time and within the budget. That's why in the past century, riveter was the most important profession in skyscraper construction.



Figure 1 – Riveter on a steel beam of a steel frame  
September 29, 1932

In Figure 1, a team of 11 workers is having lunch at the 69th floor and at a height of over 200 meters. It was impossible to go to work in rain, wind or fog, brigades of 4 people worked and if one of them did not go to work, no one went out. The work was carried out as follows: a furnace is placed on a structure made of boards or simply on steel beams, rivets are placed in the furnace: 10 centimeters in length, 3 centimeters in diameter, rivets are heated to a high temperature until they become red, which indicates their readiness for use. After that, they are inserted



through holes in the metal parts of the structure, and with the help of a hammer or mechanical device, they are tapped to firmly connect the metal parts. The best brigade could make such connections more than 500 times in a day, the average figure being about 250 rivets.



Figure 2 – Boom on hinges

The steel frame of the skyscraper consists of hundreds of steel profiles, several meters long and several tons in weight, it is difficult to store them during the construction of a skyscraper in urban buildings, no one will allow to organize a warehouse in the city center in conditions of dense construction on municipal land, moreover, all the structural elements are different.

Each element can be used in one single place, because of this, attempts to organize even a temporary warehouse, for example, on one of the last built floors can lead to confusion and disruption of the construction period. The order of steel products was agreed with the metallurgists a few weeks ago, trucks bring them to construction sites, regardless of the weather, they need to be unloaded urgently.

A derrick crane is an arrow on a hinge, it is located on the last built floor, the installers are a floor above, the winch operator can be on any floor of an already constructed building. Because of this, when lifting a multi-ton channel, the operator does not see either the beam itself or the car that it is brings, or his colleagues. The only guide for management is the ringing of the bell, which is given at the signal of the foreman, who is with his brigade, dozens of floors above. It is impossible to make a mistake and not to hear the ringing of the bell, the channel will either ram the boom of the crane or drop the beam that is being fixed. But construction did not

stop, high-rise buildings are the decoration of the city and an example of the development of the construction industry.

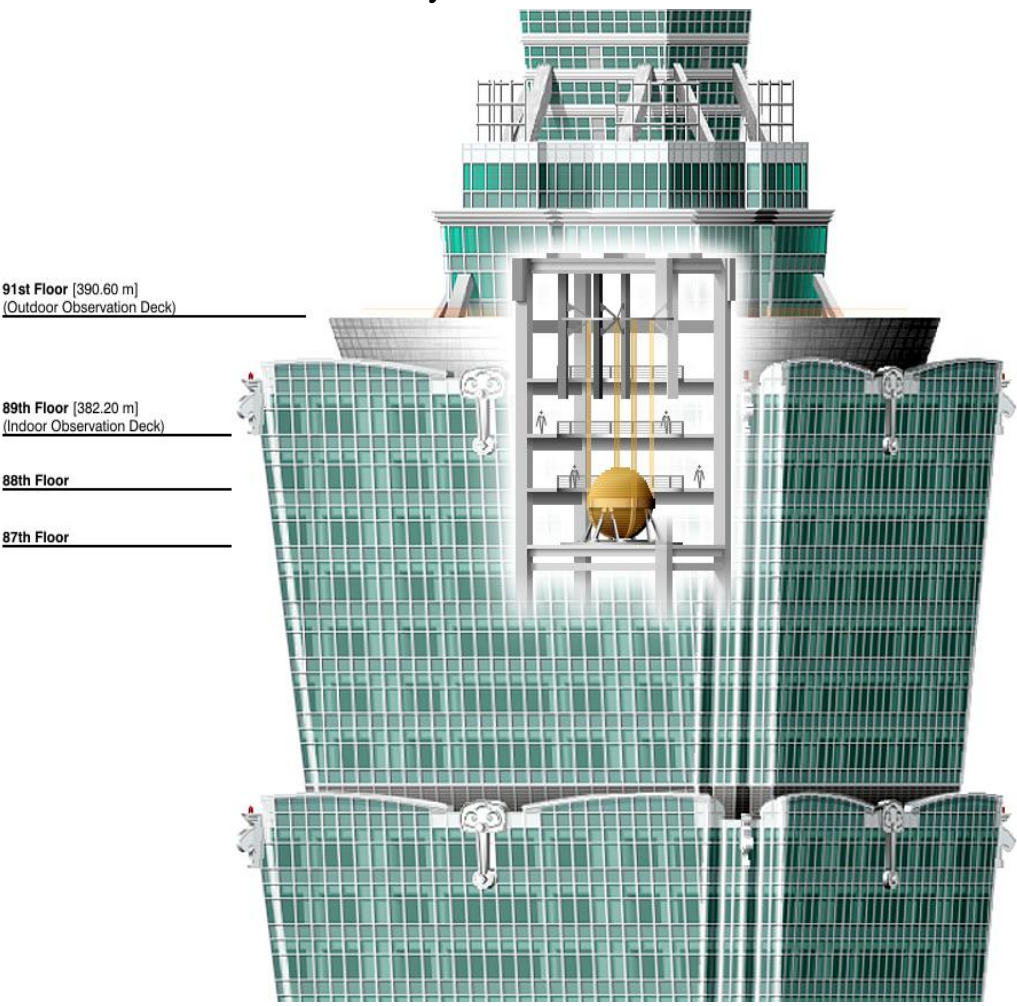


Figure 3 – Inertia damper in Taipei 101 building, Taipei City

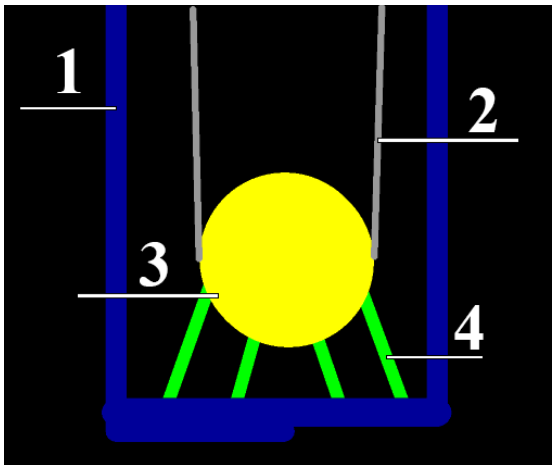


Figure 4 – Scheme of an inertia damper: 1 - an object in which vibrations are damped, 2 – suspension, 3 – heavy mass, 4 – supports

## **ВНУТРІШНІ ЕЛЕМЕНТИ ОРГАНІЗАЦІЇ**

*Василенко Д.В. – студент*

*Науковий керівник – Бакуліна В.М., ст. викл.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Внутрішнє середовище організації.** Згідно із системним підходом до управління кожна організація — це відкрита система, цілісність і життєздатність якої забезпечується завдяки елементам, з яких вона формується.

Сукупність цих елементів становить внутрішнє середовище організації. Його проектування і створення відбувається з огляду на специфіку діяльності організації, кола споживачів, ринкової кон'юнктури, умов господарювання тощо.

Система менеджменту при формуванні внутрішнього середовища організації має забезпечити відповідність характеристик його найважливіших складових умовам зовнішнього середовища, в яких організація функціонує.

**Складові внутрішнього середовища організації.** Внутрішнє середовище організації формується керівниками відповідно до їх уявлень про те, які саме елементи забезпечать її ефективне функціонування і розвиток. Цим зумовлене існування різних підходів до структурування внутрішнього середовища організацій. Найчастіше в ньому виділяють п'ять складових: цілі, структура, технологія, завдання і персонал, який виконує ці завдання з допомогою відповідної технології.

На рис. 1 наведено схематичне зображення організації як відкритої системи. Вона забезпечує свою життєздатність перетворенням ресурсів, які отримує із зовнішнього середовища, на готовий продукт (вироби, послуги, ідеї) для суб'єктів зовнішнього середовища.

Проектує процес перетворення ресурсів на готовий продукт і забезпечує його функціонування система менеджменту, яка зорієнтована на виконання таких ключових завдань:

- визначення цілей організації;
- формування під обрані цілі організаційної структури, що уможливить ефективну взаємодію всіх членів організації згідно з тими функціями, які вони виконуватимуть;

- залучення у процес перетворення тієї технології, яка гарантуватиме оптимальне співвідношення витрат ресурсів і результату;
- підбір персоналу і створення для нього дієвих мотиваційних переваг, які б поєднували прагнення людей досягати власних цілей з необхідністю працювати з належною віддачею для досягнення мети організації.

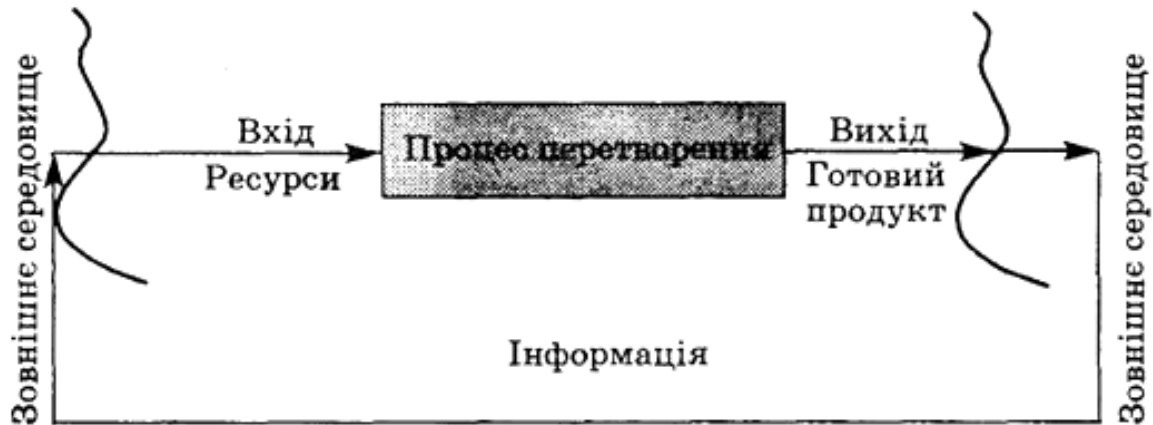


Рисунок 1 – Схема організації як відкрита система

Незалежно від сфери діяльності, складу і структури зовнішнього середовища, ці завдання є обов'язковими для керуючої системи будь-якої організації, оскільки їх вирішення формує її внутрішнє середовище.

Звідси, основними елементами внутрішнього середовища є:

- цілі організації — формуються з урахуваннями ринкової кон'юнктури на основі наявних та потенційних можливостей організації;
- структура організації — формується під обрані цілі в такий спосіб, щоб забезпечити необхідний рівень гнучкості й мобільності організаційних дій; система технологій — спрямована на забезпечення конкурентоспроможності продукції за технічними й економічними параметрами;
- персонал (людські ресурси) — добирають з урахуванням кваліфікаційних характеристик і узгодженості мотивацій індивідів з цілями організації, здатності їх до саморозвитку;
- організаційна культура — має своїм завданням ідентифікацію індивідуальних та організаційних цілей та їх узгодження.

Отже, внутрішнє середовище організації — це складна система елементів і зв'язків між ними, що є об'єктом контролювання та регулювання керівництвом.

## ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ

*Новікова В.А. – студентка*

*Науковий керівник – Бакуліна В.М., ст. викл.*

### *Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Захист металевих конструкцій від корозії є дуже важливим питанням. Корозія призводить до втрати стійкості металу, погіршення функціональних властивостей виробу, його довговічності. Щорічні втрати від корозії становлять приблизно 12% річного виробництва металу. Тому запобігання корозії необхідно розглядати на всіх етапах виробництва, інакше можна завдати не виправної шкоди дорогому обладнанню та спорудам.

Металеві вироби постійно піддаються впливу корозії під час виробництва, транспортування, зберігання та експлуатації. Найбільш схильні до корозії транспортні засоби, сільськогосподарська техніка, будівельна техніка, хімічні заводи, системи опалення, підземні споруди, нафтогазові об'єкти тощо.



Рисунок 1 – Приклад корозії поверхні металу

Фарбування металоконструкцій роблять не тільки для того, щоб забезпечити їх естетичний зовнішній вигляд, а й для попередження негативного впливу зовнішніх факторів: різких температурних коливань, хімічних агентів, ультрафіолетового випромінювання, води. Саме вода є найпершим чинником, який провокує розвиток іржі.

У процесі антикорозійної обробки, рекомендовано, особливу увагу приділяти місцям з'єднань, так як вони найбільш схильні до появи іржі.

Використання спеціальних лакофарбових матеріалів для захисту будь-яких металевих поверхонь – найпростіший і доступний спосіб підвищити їх спротив корозії від навколишнього середовища та умов експлуатації.

Такі покриття володіють наступними перевагами: легко наносяться, дозволяють отримати покриття будь-якого кольору, дають можливість обробити складні і габаритні металоконструкції, ціна матеріалу істотно нижче перед іншими типами захисних покриттів.

Антикорозійний захист металоконструкцій складається з: повного очищення поверхонь для кращої в подальшому адгезії з емаллю (видалення вогнищ корозії, старого покриття, пилу, іншого бруду), знежирення, нанесення ґрунтовки, покриття поверхонь емаллю.

Для металоконструкцій розроблені засоби, що забезпечують антикорозійний захист: акрилові; спеціальні склади; масляні; емаль. Спеціальні фарби призначені для обробки металоконструкцій. Їх особливості: вогнестійкість, стійкість до перепадів температурного режиму, а також підвищений рівень антикорозійного захисту.

БНіП розглядає пасивний захист в якості протектора. Для отримання бажаного ефекту в фарбу додається металевий пил. Таке лакофарбове покриття ефективно протистоїть корозійним процесів. Для досягнення мети рекомендується використовувати цинковий пил.

При забезпеченні захисту від корозії металеві конструкції будуть працювати тривалий час надійно у всіх сферах господарської діяльності людини.



Рисунок 2 – Нанесення фарби на металеву конструкцію

## МОДУЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО В УКРАЇНІ

*Принципал О.Є. – студент*

*Науковий керівник – Бакулін Є.А., к.т.н, доц.*

### *Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Модульне будівництво – інноваційна стратегія розвитку, що забезпечує ефективне використання простору, прискорену забудову та унікальні можливості в адаптації житла до різних потреб, забезпечуючи при цьому стабільність та енергоефективність.

Види модульного будівництва:

- Просторові конструкції: Використання модульних блоків для створення житлових просторів з високою гнучкістю та швидкістю забудови.
- Енергоефективність: Застосування інноваційних матеріалів та технологій для створення енергоефективних модульних будівель.

Таблиця 1 – Порівняння типів модульного будівництва

Критерії	Модульні блоки	Контейнери для житла	Панельні конструкції
Швидкість збудови	Висока	Середня	Висока
Гнучкість палнування	Висока	Середня	Середня
Вартість	Середня	Низька	Середня
Енергоефективність	Висока	Середня	Висока



Рисунок 1 – Приклад монтажу модульного будинку



Рисунок 2 – З'єднання при монтажі модульного будинку



Рисунок 3 – Приклад готового модульного будинку



Рисунок 4 – Перероблений з контейнера модульний будинок



Модульна адаптація: Застосування модульного будівництва для швидкої та ефективної забудови тимчасових житлових комплексів для переселенців.

Гнучкість використання: Можливість легко змінювати та адаптувати простір відповідно до зростаючих потреб та числа переселенців.

Енергоефективність: Використання екологічно чистих матеріалів та технологій для забезпечення енергоефективності тимчасових будівель.

Переваги модульного будівництва.

Стабільність: Модульне будівництво може бути більш сталим та ефективним в економічному плані через раціональне використання ресурсів та уніфіковані конструкції.

Менші відходи: Зменшення відходів завдяки виробництву в умовах заводу та використанню точних розмірів для монтажу модулів.

Недоліки модульного будівництва.

Модульні конструкції можуть обмежувати творчість у дизайні будинків, оскільки базуються на стандартних модулях.

Залежність від виробника: Деякі системи модульного будівництва можуть бути взаємозалежними від конкретного виробника, що може обмежити конкуренцію та інновації.

Висновок.

Модульне будівництво виявляється інноваційною стратегією, що забезпечує ефективне використання простору, швидку збудову та гнучкість у адаптації. Порівнюючи види модульного будівництва, виявляється, що вони мають свої переваги та обмеження. Тимчасовий будинок для переселенців може бути швидко та ефективно реалізованим за допомогою модульних технологій, враховуючи гнучкість та енергоефективність.

УДК 725

## **КЛАСИФІКАЦІЯ МОДУЛЬНИХ БУДИНКІВ**

*Суддя О.М. – студентка*

*Науковий керівник – Бакуліна В.М., ст. викл.*

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

Модульний будинок – це будівля, що складається з окремих модулів. Модулі виготовляють окремо на заводі: виробляють дерев'яний каркас,

обшивають та утеплюють стіни, влаштовують каналізацію, водопровід та електрику. Збирають модульний будинок уже на ділянці.



Рисунок 1 – Дерев'яний модульний будинок

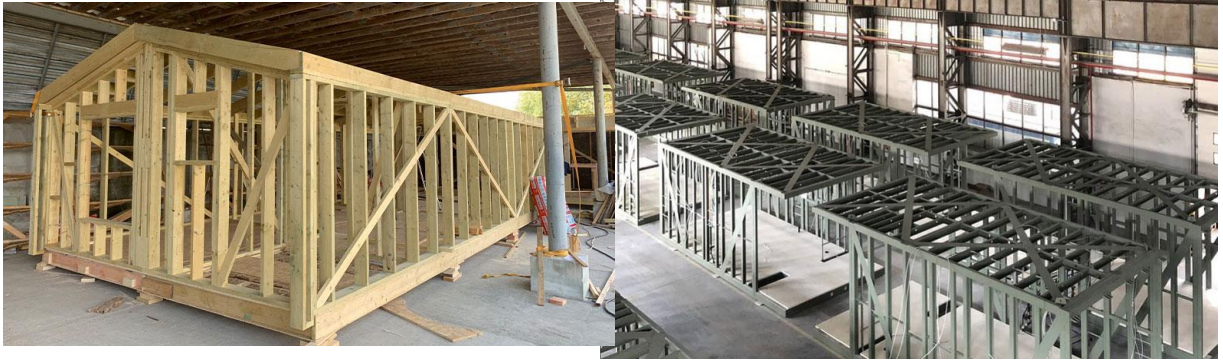
Модульний будинок – це будівля, що складається з окремих модулів. Модулі виготовляють окремо на заводі: виробляють дерев'яний каркас, обшивають та утеплюють стіни, влаштовують каналізацію, водопровід та електрику. Збирають модульний будинок уже на ділянці.

Блоки такого будинку виготовляють на виробництві близько 2 місяців, привозять готовими на ділянку та монтують будинок всього за 2-5 днів.

За необхідності попередньо облаштовують пальовий фундамент (1-2 дні), але в деяких випадках можна обійтися і без нього. Такий будинок можна перевезти в інше місце або продати, якщо в ньому вже немає потреби.

Матеріали, що використовуються для створення блоків, включають метал і дерево, які формують основу будівлі. Метал забезпечує міцність конструкції, тоді як дерево пропонує екологічність. Утеплювачі, такі як базальтова (кам'яна) вата і пінополістирол, використовуються для забезпечення теплоізоляції. Базальтова вата відзначається стійкістю до вологи і вогнетривкістю. Для зовнішньої обробки використовуються різноманітні матеріали, такі як вініловий або металевий сайдинг, об'ємна штукатурка, дерев'яний брус і фіброцементні плити.

Модульні будинки можна кваліфікувати за типами.



А

Б



В

Рисунок 2 – Модульні будинки: А - на основі дерев'яного каркасу; Б - на основі сталевих каркасу; В - на основі контейнерів та транспаків

Модульні будинки бувають 3 основних типів:

- На основі дерев'яного каркасу (найпоширеніший для приватного забудовника);
- На основі сталевих каркасу (готовий до численних переїздів та суворих умов експлуатації, найдорожчий варіант);
- На основі контейнерів та транспаків (найдешевше рішення, має низькі стелі, не завжди зручні планування, низьку енергоефективність, зазвичай низька якість обробки та інженерних рішень).

На цінову політику та їх вартість модульного будинку впливає кілька факторів:

- Кількість використовуваних модулів;
- Тип фундаменту;
- Віддаленість транспортування;

○ Вид зовнішнього й внутрішнього оздоблення



Рисунок 3 – двоповерхові модульні будинки.

Переваги модульного будинку:

- Швидкість зведення;
- Полегшений фундамент;
- Можливість перевезення;
- Екологічність;
- Широкий спектр застосування;
- Висока енергоефективність.

Недоліки **модульного будинку**:

- Обмеженість площі та поверховості;
- Простота форм;
- Висока вартість квадратного метра.

Модульні будинки представляють собою чудову альтернативу традиційним будинкам. Ця технологія дозволяє заощадити будівельникам час, зусилля та кошти. Переваги модульності виявляються в тому, що це ефективна технологія майбутнього, яка має потенціал для подальшого розвитку. Модульні будинки є теплими, сучасними та економічними завдяки швидкості виробництва, збирання, легкому фундаменту та заводському виготовленню



Рисунок 4 – Утепленный модульный будинок

УДК 69

## **FORMWORK "PERI, DOKA, ULMA, VARIANT" FOR VERTICAL AND HORIZONTAL MONOLITHIC STRUCTURES**

*Danylo Trochynskyi – student*

*Supervisor – Valentyna Bakulina, senior lecturer*

*National university of life and environmental sciences of Ukraine*

Formwork is a temporary structure used to create a mold for pouring concrete. It is used in construction to build monolithic structures such as walls, floor slabs, foundations, columns, stairs, etc.

There are various types of formwork on the market, but the most popular in Ukraine are PERI, DOKA, ULMA and Variant systems. These systems differ in their design features, materials and applications.

PERI formwork systems: a German company that offers a wide range of formwork systems for all types of construction projects. Their systems are known for their high quality, reliability and ease of installation.

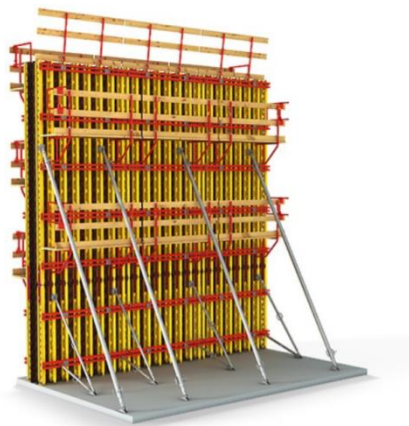
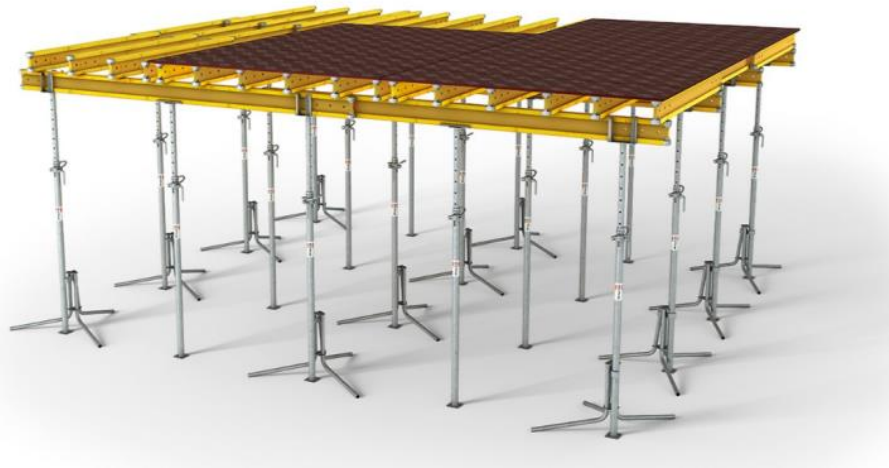


Figure 1 – Example of the Peri formwork system

The DOKA system is a development of an Austrian company that specializes in the production of aluminum formwork. Their systems are xdlightweight, gdurable and economical.



Figure 2 – Example of the DOKA formwork system

ULMA System is a Spanish company that offers a wide range of formwork systems, as well as other building structures. Their systems are known for their versatility and adaptability to any task.

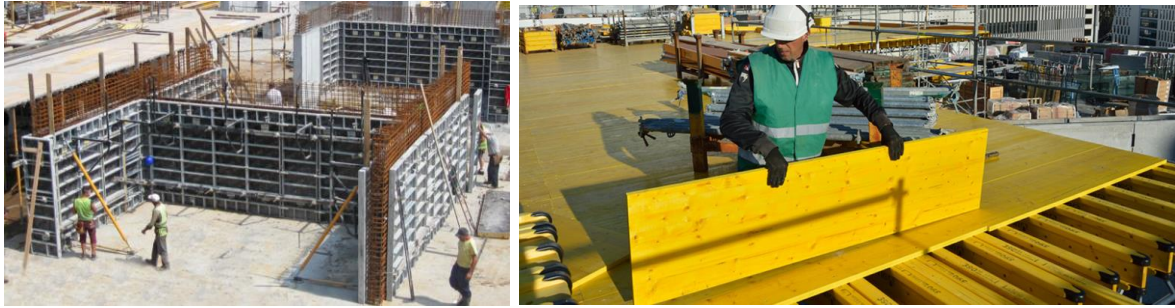


Figure 3 – Example of the ULMA formwork system

System VARIANT is a Ukrainian company that produces formwork from affordable and high-quality materials. Their systems are well suited for the construction of residential and commercial facilities.



Figure 4 – Example of the VARIANT formwork system

Advantages of using PERI, DOKA, ULMA, VARIANT formwork systems:

*Quality:* These systems are made of high quality materials and meet all European standards.

*Reliability:* they are able to withstand significant loads and guarantee the safety of construction work.

*Ease of installation:* thanks to the well-thought-out design and clear instructions, installation of the formwork does not require much time and effort.

*Versatility:* these systems can be used to build monolithic structures of any shape and size.

*Cost-effectiveness:* they are reusable, making them cost-effective for construction projects.

Application of PERI, DOKA, ULMA, VARIANT formwork systems:

**Walls and columns:** these systems are used for the construction of walls of any thickness and height, for the construction of walls and columns, boards of various sizes, braces and posts, special elements "crabs" for connecting boards in the joint and pins for connecting boards at the appropriate thickness are used.

Floor slabs: they are suitable for the construction of floor slabs of any size and configuration, for the construction of such structures, racks are used (to raise the crossbars and plywood to the appropriate height), tripods to ensure the stability of the racks, crowns to hold the crossbars, crossbars to form a plane for laying plywood, plywood on which the reinforcing cage is directly laid and concrete is poured.

Foundations: these systems are used for the construction of various types of foundations.

Stairs: these systems are used for the construction of stairs of any complexity.

The choice of formwork system depends on several factors, such as the type and size of the monolithic structure, project budget, construction time, and others.

УДК 378.147.624(079)

## **FORCED AIR EXCHANGE OF PREMISES**

*Andriy Prokopenko – student*

*Supervisor – Evgeniy Bakulin, candidate of technical sciences, associate professor*

*National university of life and environmental sciences of Ukraine*

Forced air exchange is the process of artificially removing contaminated air and supplying clean air from the outside using fans and other devices. It is used in rooms where natural air exchange is insufficient or where it is necessary to maintain certain microclimate parameters (temperature, humidity, air purity).

The forced air exchange system consists of the following main elements:

Fans: create a draft that forces air to move through the system.



Figure 1 – Fans



Air ducts: channels through which air moves.



Figure 2 – Air ducts made of metal

Air dampers: regulate air flow



Figure 3 – Air dampers

Filters: clean the air from dust, dirt, allergens and other harmful impurities.

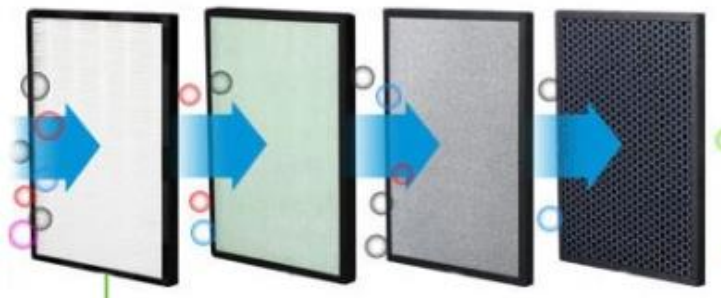


Figure 4 – Filters

Heaters and coolers: regulate air temperature.



Figure 5 – An example of a device that regulates air temperature

Humidifiers and dehumidifiers: regulate air humidity



Figure 6 – An example of a humidity control device

There are three main types of forced air exchange systems:

Exhaust: removes contaminated air from the room.

Supply air: supply clean air to the room.

Supply and exhaust: combine the functions of exhaust and supply systems.

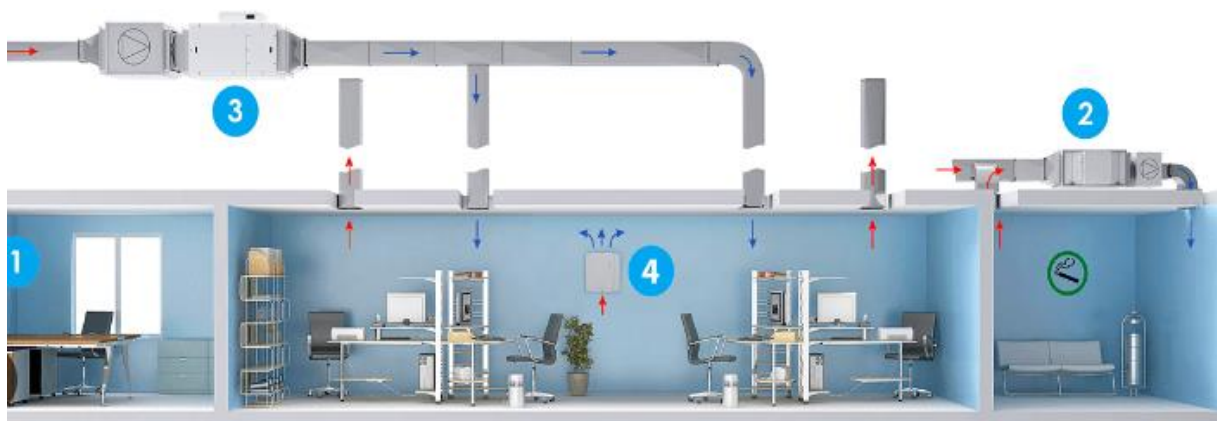


Figure 7 – An example of a supply and exhaust scheme:

*1- air dampers; 2 - general air conditioner; 3 - air ducts; 4 - wall conditioner*

Application of forced air exchange

Forced air exchange is used in residential, public, industrial and other premises.

- Residential premises: apartments, houses, cottages.
- Public spaces: offices, shops, schools, hospitals, restaurants.
- Industrial premises: plants, factories, warehouses.

Agricultural premises: livestock farms, poultry houses, greenhouses, etc.

Advantages of forced air exchange:

Provides a constant supply of clean air.

Removes polluted air, odors, dust, moisture.

Regulates air temperature and humidity.

Creates a favorable indoor climate.

Improves the health and performance of people.

Reduces the risk of diseases.

Disadvantages of forced air exchange:

Can be expensive to install and operate.

Generates noise.

Requires regular maintenance.

Conclusion.

Forced air exchange is an important factor in ensuring a comfortable and healthy indoor environment. The choice of the type and configuration of the forced air exchange system depends on the purpose of the room, its size, the number of people staying there, and other factors.

УДК 621.396

## **ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У БУДІВНИЦТВІ ТА ЦИВІЛЬНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ**

*Лященко О.В. – студент*

*Науковий керівник – Яковенко І.А., д.т.н., проф.*

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

Технологія цифрових близнюків (*Digital Twins Models*), яка характеризується віртуальними копіями фізичних об'єктів, постійно оновлюються у режимі реального часу і є вельми актуальними напрямком сучасних технологічних досягнень [1]. Ключовою особливістю, яка відрізняє цифрового двійника від симуляції чи простої віртуальної копії, є його

постійний зв'язок даних. Цей зв'язок між фізичним об'єктом і його цифровим аналогом забезпечує динамічний моніторинг [2], дозволяючи відстежувати в режимі реального часу стан і продуктивність об'єкта. Ця можливість не тільки підвищує ефективність роботи, але й прокладає шлях для дослідження різних сценаріїв життєвого циклу, суттєво сприяючи розвитку метавсесвіту [3].

Будівельний цифровий двійник, який моделює одну будівлю, групу будівель, шосе, міст чи ціле місто, пропонує комплексне віртуальне представлення проєкту. Ці цифрові близнюки, які зазвичай візуалізуються за допомогою складного 3D-моделювання або рішень доповненої та віртуальної реальності [3, 4], дозволяють зацікавленим сторонам оцінювати простір і взаємодіяти з ним віртуально.

Технологія DTM у будівництві виходить за рамки візуалізації; мова йде про створення адаптивної інтерактивної моделі, яка розвивається разом із фізичною структурою. Ця технологія дозволяє будівельникам завчасно визначати **потенційні проблеми, оптимізувати проєкти та вдосконалювати процеси прийняття рішень**. Використовуючи цифрову технологію будівництва близнюків, будівельні проєкти стають більш ефективними, рентабельними та стійкими [4]. Впровадження цифрових близнюків у будівельних проєктах означає перехід до більш розумних та адаптивних методів будівництва [1].

Наприклад, цивільна інфраструктура є дуже цінним активом, відіграючи життєво важливу суспільну роль і залучаючи велику кількість людей на кожному етапі її складного робочого життя від початкових концептуальних креслень, 3D-чисельної моделі, будівельних робіт до експлуатаційних послуг, як показано на рис. 1. Таким чином, управління інфраструктурою було предметом інтенсивних досліджень, спрямованих на максимізацію їх безпеки та терміну служби при мінімізації витрат на будівництво та подальшу надійну експлуатацію та обслуговування.

Як наслідок, інтеграція технології цифрового близнюка в різні сектори, включаючи виробництво, охорону здоров'я та будівництво, відкрила нові межі в операційній ефективності та інноваціях. Ці DTM, далеко не статичні моделі, є динамічними сутностями, які розвиваються в реальному часі, пропонуючи безпрецедентну взаємодію та розуміння фізичних об'єктів і систем.

Оскільки ця технологія продовжує розвиватися, її потенціал для трансформації галузей промисловості та підвищення людських можливостей здається безмежним.



Рисунок 1 – Схема структурна схема життєвого циклу будівлі та/або споруди з використанням DTM

У будівництві DT йдуть поруч із BIM-моделюванням. Останнє охоплює створення 3D-цифрової моделі, яку можна використовувати для візуалізації майбутніх будівель або споруд, імітації поведінки будівлі, прогнозування збільшення кількості, виявлення зіткнень тощо. У свою чергу, технологія цифрового близнюка розширює можливості BIM у режимі реального часу. Дані, зібрані за допомогою пристроїв і розумних датчиків.

Технологія DTM синхронізує цифрові BIM-моделі з фізичними будівлями, створюючи перевагу аналітики. Це забезпечує ефективне узгодження даних, яке відбувається негайно, оскільки спеціалісти отримують можливість постійно контролювати хід будівництва та отримувати доступ до інформації, яка впливає на прийняття рішень, у дорозі. Таким чином, замість того, щоб намагатися виправляти помилки постфактум, будівельні компанії можуть миттєво виявляти та усувати їх.

При цьому основний обсяг роботи з розробки цифрових двійників припадає на розробників програмного забезпечення. Етапи розробки, виглядатимуть наступним чином:

1. **Визначення мети:** розуміння мети ініціативи цифрового близнюка та визначення того, які аспекти конструкції будуть відстежуватися за допомогою технології.

2. **Встановлення вимог до даних:** визначення того, які дані потрібні для створення цифрового двійника, наприклад, BIM-моделі, проєктні креслення, дані з пристроїв і датчиків тощо.

**3. Створення BIM-моделі:** проєктування 3D моделі необхідної будівлі.

**4. Включення даних у режимі реального часу:** встановлення пристроїв Інтернету речей і розумних датчиків у різних місцях для забезпечення потоку даних у режимі реального часу щодо ходу будівництва та стану будівлі.

**5. Інтеграція та візуалізація даних:** з'єднання підготовленої BIM-моделі з даними в реальному часі в рамках однієї платформи та візуалізація фізичного активу в цифровому середовищі.

**6. Перевірка:** калібрування конструкції цифрових близнюків після її запуску, щоб гарантувати точність шляхом порівняння інформації, яку вона надає, з фізичним активом.

**7. Постійний моніторинг і аналіз:** використання даних у реальному часі для аналізу та прийняття рішень на основі даних.

**8. Технічне обслуговування та оновлення:** наявність відповідних та актуальних даних, щоб забезпечити правильну роботу цифрового близнюка та точну інформацію.

Створення цифрових двійників для будівельної галузі вимагає спільних зусиль усіх зацікавлених сторін, залучених до процесу будівництва. Власники, дизайнери, архітектори, підрядники та торговці повинні розуміти цінність технології та зміни, які вона приносить.

Популярність цифрових побратимів для цілих міст зростає, і все більше мегаполісів або навіть невеликих міст отримують віртуальні копії. Цінність таких цифрових близнюків величезна, оскільки вони дозволяють планувати більш сталі та екологічно чисте будівництво, зменшувати викиди вуглецю, організовувати рух транспорту тощо. Загалом, повномасштабний цифровий близнюк міста має потенціал для покращення якості своїх мешканців живе та створює більше екологічно чистих просторів.

#### **Список використаних джерел**

1. Яковенко І.А., Бакулін Є.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України // Зб. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України ( 24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2023. С. 488–491.
2. Emelyanov, S., Nemchinov, Y., Kolchunov, V., & Yakovenko, I. (2016). Details of large-panel buildings seismic analysis. *Enfoque UTE*, 7(2), pp. 120 – 134.
3. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n2.100>

4. Ammar A. & oth. Digital Twins in the Construction Industry : A Perspective of Practitioners and Building Authority. *Frontiers in Built Environment*, 2022, Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.834671>
5. Mihai S. & oth. Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS AND TUTORIALS*, 2022, vol. 24, no. 4, pp. 2255-2291, <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3208773>

УДК 621.396

## **РОЗВИТОК ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ: ЗАДАЧІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

*Байдак У.М. – студентка*

*Науковий керівник – Яковенко І.А., д.т.н., проф.*

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

На регіональному, національному та глобальному рівнях будівництво вважається великим сектором, що має стратегічне значення [1]. Це також галузь, яка протягом десятиліть страждає від безлічі проблем, **включаючи:**

- низький рівень виробництва;
- низьку норму прибутку,
- відходи виробництва;
- проблеми з безпекою.

Її проєкти надзвичайно складні, а небезпека неефективності та ризиків, які в кінцевому підсумку призводять до збільшення витрат і затримок, зростає в геометричній прогресії зі збільшенням масштабу проєкту.

Визначення штучного інтелекту (ШІ) змінювалося з плином часу, але його основою завжди була мета створення машин, здатних мислити, як людина. Для цього він **намагається імітувати людський інтелект за допомогою апаратних і програмних рішень** [2].

В умовах, коли щосекунди генерується все більше даних, технології штучного інтелекту, що охоплюють робототехніку, машинне навчання, розпізнавання мови, експертні системи та комп'ютерний зір, серед іншого, допомагають науковій спільноті використовувати зростання обсягів великих даних [3].

З цих величезних масивів даних вчені [1–3 та ін.] можуть видобувати інформацію, яку людське око не може інтерпретувати достатньо швидко, використовуючи ШІ.

У результаті стає зрозуміло, що ШІ може допомогти будівельній галузі покращити процес прийняття рішень, сприяти успіху проєктів, а також реалізовувати проєкти вчасно і в рамках бюджету, проактивно витягуючи нові прогностичні дані з постійно зростаючого обсягу проєктних даних, які раніше лише архівувалися для подальшого використання, рис. 1.

**Штучний інтелект у будівельній сфері може:** прискорити та автоматизувати процес проєктування, цим самим підвищити ефективність та продуктивність; збільшити знання (підвищення продуктивності за рахунок скорочення часу, витраченого на пошук спеціальної інформації, допомагає інженерам бути в курсі останніх стандартів і технологій).

**Алгоритми ШІ** можуть обробляти величезні обсяги даних і виконувати складні обчислення набагато швидше, ніж люди.

Ця можливість дозволяє інженерам аналізувати та оптимізувати проєкти за короткий час [4].

Крім того, технології ШІ сприяють значній економії часу та коштів. Автоматизуючи такі завдання, як обробка та аналіз даних, інженери можуть зосередитися на прийнятті рішень на вищому рівні.

Результати огляду показують, що технології ШІ здебільшого використовуються в управлінні об'єктами, що створює величезні можливості для отримання прибутку для галузі, дозволяючи керівникам об'єктів вживати проактивних заходів (рис.1, а).

Ці знання допоможуть будівельним компаніям у всьому світі визнати переваги ефективності та продуктивності, які можуть забезпечити технології штучного інтелекту, а також допоможуть їм приймати більш розумні рішення щодо інвестицій у технології.

а)



б)





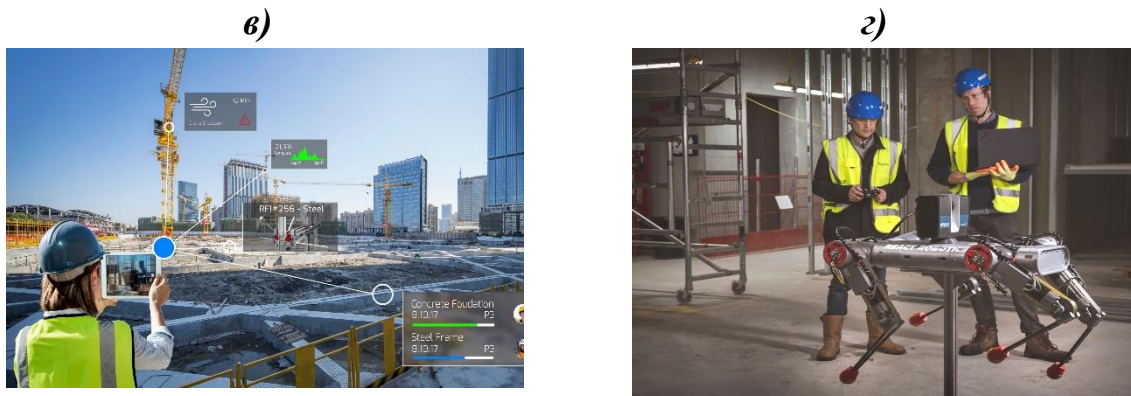


Рисунок 1 – Сфери застосування штучного інтелекту у галузі будівництва

Удосконалення роботизованого будівництва (рис. 1) відкриває ще одну можливість для штучного інтелекту в будівельній інженерії.

Роботи, оснащені алгоритмами штучного інтелекту, можуть допомогти у складних будівельних завданнях, таких як монтаж складних конструкцій або виконання перевірок якості.

Ця інтеграція штучного інтелекту та робототехніки спрощує процес будівництва та підвищує ефективність.

Штучний інтелект має звільнити людство від роботи, на яку насправді не вистачає часу або яка часто повторюється, тому люди можуть зосередитися на інших завданнях.

Оскільки людство, у найближчому майбутньому, майже напевно, зіткнеться з нестачею кваліфікованих працівників у будівельній галузі, тому доведеться покладатися на ШІ. Найбільш кращим і ефективним підходом є співпраця, в якій досвідчені інженери-будівельники використовують передові можливості штучного інтелекту у суворій відповідності з міжнародними нормами та галузевими правилами.

#### Список використаних джерел

1. Яковенко І.А., Бакулін Є.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України // Зб. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України ( 24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2023. С. 488–491.
2. Родченко О.В. Комп'ютерні технології числового моделювання будівельних конструкцій: навч. посібник / Родченко О.В., Шевченко О.В. – К. : НАУ, 2024. – 192 с.
3. Abioye Sofiat O. & oth. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of*

4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за дисциплінами «САПР у будівництві», «Моделювання будівель та споруд сільськогосподарського призначення» підготовки фахівців ОС «Магістр» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» / уклад.: Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. – К. : НУБіП України, 2021. – 104 с.

УДК70

## СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПОРОЖНИСТИХ ПЛИТ В ПК «ЛІРА САПР»

*Гонтар О.В. – студент*

*Науковий керівник – Дмитренко ЄА, к.т.н., доц.*

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

У будівництві різних типів споруд, включаючи житлові, громадські та адміністративні будівлі, широко використовуються багатопорожнисті плити перекриття. Багатопорожнисті плити перекриття мають широку номенклатуру розмірів, високу міцність та жорсткість, а також легко та швидко встановлюються у проектне положення. В ПК «ЛІРА САПР» є можливість моделювання, розрахунку та дослідження роботи таких плит під навантаженням та дії інших впливів.



Рисунок 1 – Багатопорожниста плита перекриття із основними габаритними розмірами

Розглянемо особливості моделювання багатопорожнистих плит перекриття за допомогою плоских скінченних елементів SE41. Згідно з принципом роботи, такі плити є шарнірно опертими з обох боків. Проте, тип жорсткості для пластини в ЛІРА-САПР є прямокутним, тобто без порожнин, відповідно потрібно визначити та розрахувати еквівалентну висоту перерізу або товщину плити. При цьому в задачах проектування будівель та споруд виникають наступні варіанти моделювання таких плит:

- необхідно провести розрахунок навантаження на стіну, на яку спирається плита. У даному випадку згинальна жорсткість плити не відіграє принципової ролі, і потрібно враховувати лише власну вагу плити перекриття.
- Потрібно провести моделювання роботи плити з урахуванням взаємодії з іншими конструктивними елементами. Це означає врахування ситуації, коли на плиту діють конструктивні елементи, а зусилля в них залежать від величини деформації плити під навантаженням.

**Врахування власної ваги плити.** Для того щоб врахувати власну вагу багатопорожнистої плити користувачу потрібно її розрахувати власну вагу плити перекриття. Цей параметр можна знайти в типовій серії залізобетонних виробів. Отримане значення слід перевести у погонну вагу. Наприклад, для плити ПК 17-12-8 погонна вага складає  $g=0,458 \text{ тс/м}$ . Отриману погонну вагу ми підставляємо у формулу для визначення погонної ваги суцільної плити:  $g = b * h * 2.5 \text{ т/м}^3$ . З цієї формули виразити потрібну висоту  $h$ , виходячи з того, що ширина плити вже відома і дорівнює ширині багатопорожнистої плити.

$$h = g / (b * 2.5) = 0.458 / (1.19 * 2.5) = 0.154 \text{ м} = 15.4 \text{ см.}$$

Отримане значення і є еквівалентна товщина суцільної плити (рис. 2).

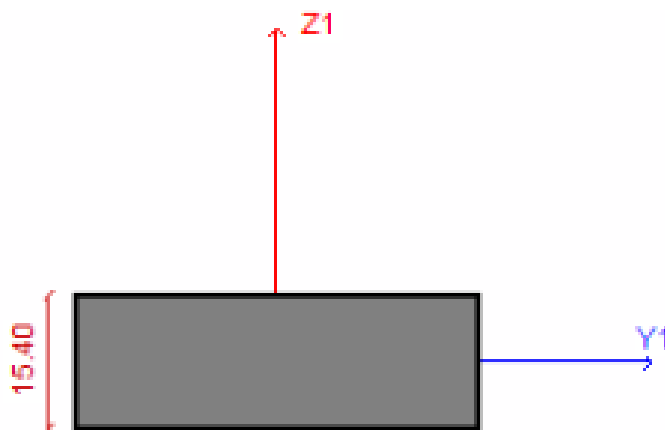


Рисунок 2 – Жорсткість еквівалентної плити «Пластина Н 15.4»

## 1.Завантаження 1

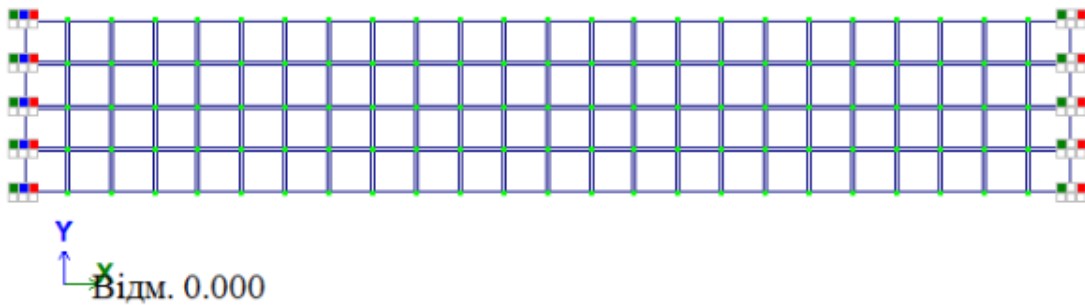


Рисунок 3 – Багатопорожниста плита змодельована плоскими скінченними елементами

Навантаження на нижні конструкції від такої плити буде відповідати навантаженню від прийнятого в проекті залізобетонного виробу. Питому вагу у параметрах жорсткості слід задати як питому вагу залізобетонних конструкцій ( $2.5 \text{ т/м}^3$ ).

**Врахування згинальної жорсткості плити з попередньо-напруженою арматурою.** Оскільки більшість багатопорожнистих залізобетонних плит попередньо напружені, то для визначення згинальної жорсткості важливо з'ясувати максимальний прогин при випробуваннях на жорсткість. Цю інформацію можна знайти у типових серіях на багатопорожністі залізобетонні плити. Розглянемо приклад визначення згинальної жорсткості плити Серії 1.241-1. Випуск 37 «Панелі перекриття залізобетонні багатопустотні».

Як зразок, приймемо плиту марки П72.12-8-AtIVc у віці 100 діб. Граничний прогин багатопорожнистої плити при випробуваннях у віці 100 діб становить 13,6 мм. Даний прогин визначається при контрольному навантаженні  $0.67 \text{ т/м}^2$ , без урахування власної ваги виробу ( $0.305 \text{ т/м}^2$ ). З урахуванням власної ваги при визначенні прогину під навантаженням складе  $0.67+0.305=0.975 \text{ т/м}^2$ . Виразимо необхідну величину згинальної жорсткості з формули прогину однопрогінної шарнірно опертої балки:

$$f=5/384*(q*l_p^4)/(EI)$$

$$EI=5/384*(q*l_p^4)/f=5/384*(0.975*7.15^4)/0.0136=2439.65 \text{ т*м}^2$$

де  $l_p=7.15 \text{ м}$  - розрахунковий прогін плити під час випробування.

Визначимо необхідну товщину плити для врахування її власної ваги:

$$0.305/2.5=0.122 \text{ м.}$$

Переріз плити еквівалентний як за власною вагою, так і за поздовжньою жорсткістю.

Визначимо згинальну жорсткість суцільної плити ( $H=12.2 \text{ см}$ ):

$$EI=E*b*h^3/12=3000000*1*0.122^3/12=453.96 \text{ т*м}^2$$

Для коригування жорсткості плити можна скористатися функцією множення жорсткості на коефіцієнт. Визначимо коефіцієнт, на який слід помножити згинальну жорсткість плити:

$$2439.65/453.96=5.37$$

Після задавання даної жорсткості і навантаження в розрахункову схему плити і її подальшого розрахунку, отримуємо дані ізополів вертикальних переміщень, *по вісі Z* (рис. 4).

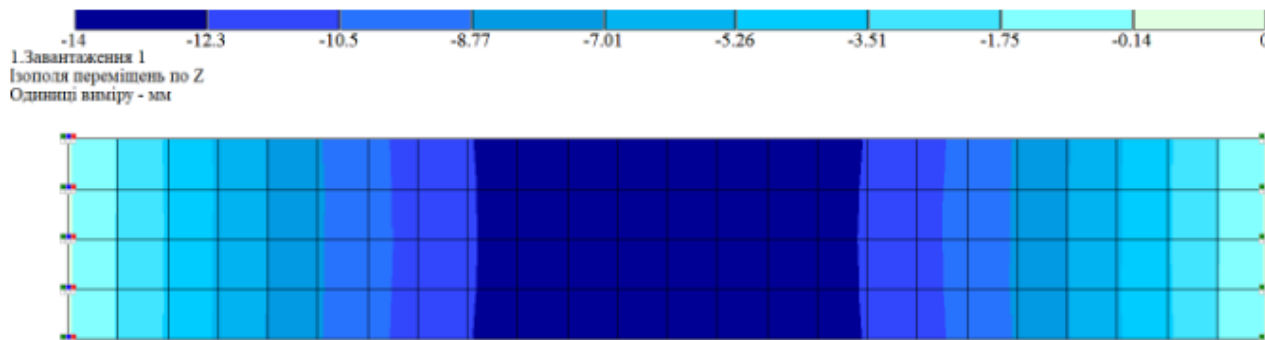


Рисунок 4 – Ізополі переміщення вузлів плити по вісі Z, мм

Відповідно, результати розрахунків практично відповідають прогину, отриманому під час випробувань. Мала різниця (0,4 мм) пояснюється тим, що в розрахунковій моделі прогін плити був взятий не 7,15 м, як у випробуваннях, а 7,2 м.

УДК 71

## **ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ БАЛКОВИХ РЕБРИСТИХ МОНОЛІТНИХ ПЛОСКИХ ПЕРЕКРИТТІВ ПРИ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Цуман А.В. – студент*

*Науковий керівник – Дмитренко Є.А., к.т.н., доц.*

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

При розрахунку ребристих балкових плоских перекриттів необхідно враховувати залучення частини монолітної плити перекриття як стиснутої полиці монолітного ребра (балки). Один із варіантів моделювання монолітних ребер плит перекриттів – врахування спільної роботи плити перекриття заданої оболонками та балки перекриття заданої стержнем таврового перерізу

у прольоті та прямокутного перерізу на опорі. При цьому значення ширини полиці можна прийняти за рекомендаціями діючих будівельних норм.

Зону балки з призначеною полицею можна обмежити відповідно до положень EN 1992-1-1:2004, а саме враховувати ширину звису на відстані  $l_0$  між точками нульових моментів по довжині балки (рис. 1).

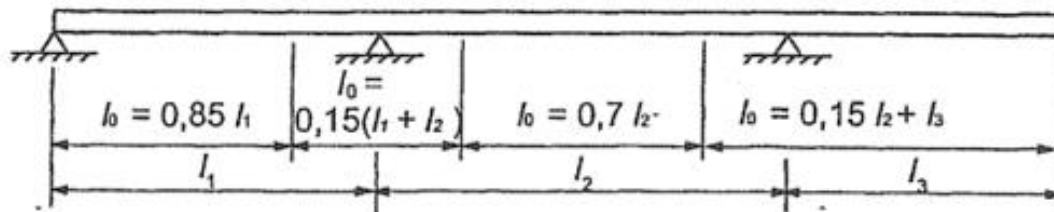


Рисунок 1 – Визначення  $l_0$  для обчислення ефективної ширини звису

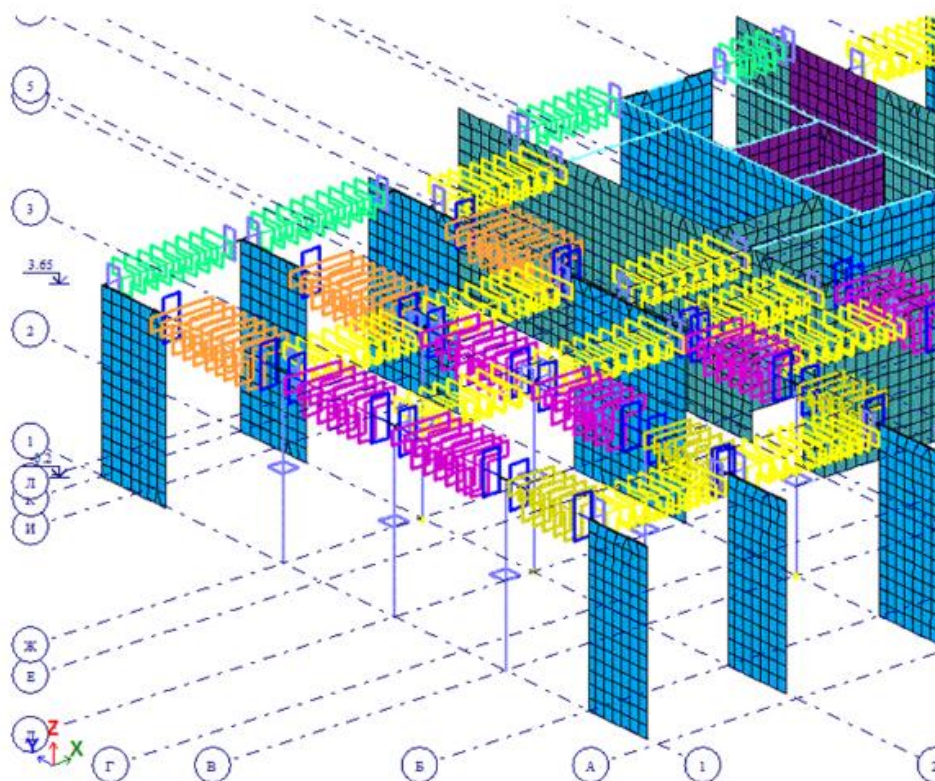


Рисунок 2 – Переріз монолітних балок (з урахуванням роботи ребра як тавра) в аксонометрії

Однак, цей метод має свої недоліки, зокрема завищення жорсткості перерізу тавра в горизонтальній площині, осьової та крутильної жорсткостей, у порівнянні із прямокутним перерізом.

При моделюванні монолітного ребра перекриття як таврового перерізу із широкою полицею, спостерігається значне збільшення згинальної жорсткості у горизонтальній площині в цих стержнях, у зв'язку з чим балки "забирають" частину горизонтальних навантажень з диску перекриття

(горизонтальна діафрагма). Якщо в стержнях із тавровими перерізами (моделювання монолітного ребра перекриття) в одному з вузлів встановити шарнір  $UZ_1$  (для горизонтальної балки це звільнення від повороту навколо вертикальної осі), ми уникаємо появи моменту  $M_z$  у самій балці, при цьому всі горизонтальні навантаження бере на себе плита перекриття (яка виконує функцію горизонтальної діафрагми). Тобто, поява  $M_z$  у балках пов'язана із недосконалістю способу моделювання монолітного ребра, а введення шарнірів  $UZ_1$  допомагає підкоригувати роботу розрахункової схеми під навантаженням.

Подібна проблема виникає відносно осьової жорсткості, де полиця враховується двічі – у складі самої плити та у перерізі тавра. Можна встановити шарнір по  $X_1$ , і в балці не буде виникати поздовжніх зусиль, вона працюватиме тільки на згин у вертикальній площині. При цьому всі горизонтальні навантаження (на стиск-розтяг і згин у горизонтальній площині) бере на себе горизонтальна діафрагма (диск перекриття), яка моделюється оболонками. Аналогічні колізії виникають із крутним моментом – за рахунок врахування полиці в стержні істотно збільшується крутильна жорсткість, що не відображає реальну ситуацію. Тому, встановивши шарнір  $UX_1$  у кожному скінченному елементі балки, ми вирішуємо проблему крутного моменту - він стає нульовим. При цьому шарнір на кручення можна ввести не нульовим, а з жорсткістю, рівною жорсткості на кручення самого ребра (без полиці), якщо необхідно забезпечити несучу здатність перерізу балки на кручення при збереженні рівноваги конструкції. Починаючи із версії ПК «ЛІРА-САПР 2019» з'явилася можливість коригувати жорсткість стержнів та пластин, яка дозволяє вирішити вище описані та подібні питання без врізання шарнірів (рис. 3).

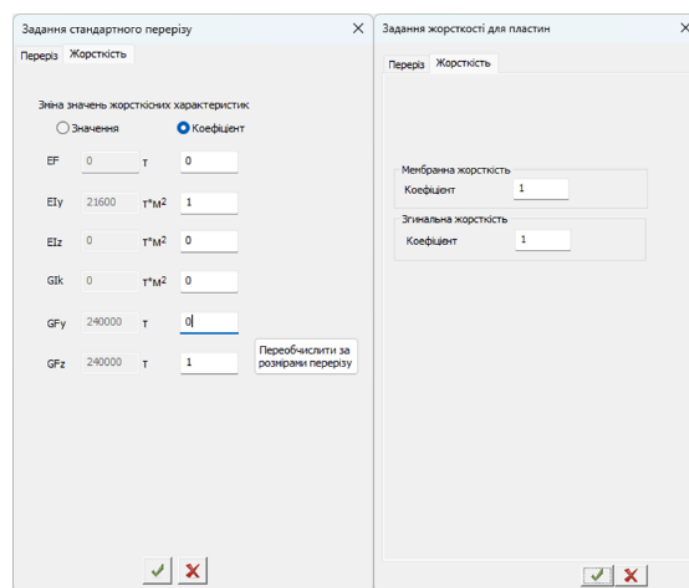


Рисунок 3 – Вкладка «Жорсткість» у вікні завдання жорстких характеристик стержнів та пластин

## ЗМІСТ

ДЕФЕКТИ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ.....	3
МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНЕВУГЛЕЦЬОВАНОГО ШАРУ.....	6
ОКИСНЕННЯ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ.....	10
ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	11
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНОГО ІНСТРУМЕНТА.....	15
ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ..	16
PELLET MANUFACTURE (Виготовлення окатишів).....	19
THE NEUTRAL REFRACTORY MATERIALS.....	21
THE WELD DEFECTS AND METHOD OF THEIR CONTROL.....	23
STEEL REFINING.....	27
BASIC REFRACTORY MATERIALS.....	29
METHODS OF ALUMINIUM MANUFACTURE.....	30
METAL WELDING.....	33
METHODS OF CONVERTER MANUFACTURE OF STEEL.....	36
VACUUM TREATMENT OF LIQUID STEEL.....	38
METHODS OF POWDER PRESSING.....	40
ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА КРИОГЕННОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПІДВИЩЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ.....	42
УДОСКОНАЛЕННЯ НАСІННЄВОГО РОЗПОДІЛЬНИКА СІВАЛКИ З ЦЕНТРАЛІЗОВАНИМ ДОЗУВАННЯМ І ПНЕВМАТИЧНИМ ТРАНСПОРТУВАННЯМ НАСІННЯ.....	43
ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ.....	45
ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	47
КОНСТРУКЦІЯ І ВГОТОВЛЕННЯ ПРИВІДНИХ ЛАНЦЮГІВ.....	49
МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	50
КОНСТРУКЦІЯ МЕТАЛЕВОГО ПІДЗЕМНОГО БУНКЕРА ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ.....	53
СОШНИКИ NO-TILL СІВАЛОК.....	56
КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ ОБРИСКУВАЧІВ.....	58
ОЧИСНИКИ РЯДКІВ ДЛЯ СІВАЛОК NO-TILL.....	59
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ.....	61
ВИДИ КІНЦЕВИХ ВИМИКАЧІВ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА.....	62
СУЧАСНІ ВИДИ 3D-ДРУКУ МЕТАЛОМ.....	64



МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО 3D-ДРУКУ МЕТАЛІВ.....	66
ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ.....	68
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПОДРІБНЮВАЧІВ.....	70
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМОМ ЗМІНИ ВИЛЬОТУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА.....	71
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОТА З ОДНІЄЮ ПОСТУПАЛЬНОЮ І ДВОМА ОБЕРТАЛЬНИМИ ЛАНКАМИ.....	73
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОТА З ОДНІЄЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ І ДВОМА ПОСТУПАЛЬНИМИ ЛАНКАМИ.....	75
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА.....	77
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРА...	79
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРА...	81
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМОМ ЗМІНИ ВИЛЬОТУ РОБОТИЗОВАНОГО БАШТОВОГО КРАНА.....	82
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ БПЛА.....	86
HIGH-RISE CONSTRUCTION IN THE THIRTIES IN NEW-YORK....	88
ВНУТРІШНІ ЕЛЕМЕНТИ ОРГАНІЗАЦІЇ.....	91
ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ.....	93
МОДУЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО В УКРАЇНІ.....	95
КЛАСИФІКАЦІЯ МОДУЛЬНИХ БУДИНКІВ.....	97
FORMWORK "PERI, DOKA, ULMA, VARIANT" FOR VERTICAL AND HORIZONTAL MONOLITHIC STRUCTURES.....	101
FORCED AIR EXCHANGE OF PREMISES.....	104
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У БУДІВНИЦТВІ ТА ЦИВІЛЬНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ.....	107
РОЗВИТОК ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ: ЗАДАЧІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ.....	111
СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПОРОЖНИСТИХ ПЛИТ В ПК «ЛІРА САПР».....	114
ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ БАЛКОВИХ РЕБРИСТИХ МОНОЛІТНИХ ПЛОСКИХ ПЕРЕКРИТТІВ ПРИ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	117

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
77-Ї ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
СТУДЕНТСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «НАУКОВІ ЗДОБУТКИ  
СТУДЕНТІВ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ТЕХНІЧНИХ ТА  
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ: КОНСТРУЮВАННЯ ТА  
ДИЗАЙН»**

**(18-19 квітня 2024 року)**

*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 18.03.2024. Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 7,625.

© НУБіП України, 2024