

**Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет
будівництва і архітектури
Академія будівництва України**



**III Міжнародна науково-практична конференція
«ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

17-19 травня 2022 року

Матеріали конференції

Київ 2022

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури (протокол №51 від 27.06.2022 р.)

Рецензенти:

О.Ф. Луговський, доктор технічних наук, професор

І.В. Кузьо, доктор технічних наук, професор

І.М. Берник, доктор технічних наук, доцент

***Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції
«Енергоощадні машини і технології»***

**Установа-організатор конференції:
Київський національний університет будівництва і архітектури**

«Енергоощадні машини і технології», Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 травня 2022 р. – К.: КНУБА, 2022. – 209 с.

До збірки включено матеріали, які стосуються енергоощадних машин, теорії їх дослідження, принципів створення і впровадження, інноваційних технологій створення енергоощадних систем в умовах сучасного будівництва, методів моделювання систем, моніторингу і діагностики технічних об'єктів.

Матеріали тез розраховані на викладачів, науковців та спеціалістів, що працюють в галузі теоретичних досліджень та практичного застосування енергоощадних машин і технологій, а також на студентів і аспірантів технічних ЗВО, фахівців науково-дослідних організацій та підприємств

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, д.т.н., професор Назаренко І.І.

Редакційна колегія:

І.І. Назаренко – д.т.н., професор, завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів – головний редактор;

О.П. Дєдов – д.т.н., професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів;

О.С. Дьяченко – к.т.н., асистент кафедри машин і обладнання технологічних процесів;

В.С. Слюсар – аспірант кафедри машин і обладнання технологічних процесів;

Матеріали друкуються в авторській редакції.

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2022

© Автори статей, 2022

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова програмного комітету:

Куліков Петро Мусійович, д-р. екон. наук, професор, ректор Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА).

Заступники голови програмного комітету:

Ковальчук Олександр Юрійович, д.т.н., проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку Київського національного університету будівництва і архітектури.

Назаренко Іван Іванович, д.т.н., професор, завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури, президент Академії будівництва України.

Члени програмного комітету:

Бобир М.І., д.т.н., професор, Київ.

Берник І.М., д.т.н., доцент, Вінниця.

Собчук Генрік, д.і.н., професор, Люблін, Польща.

Данильченко Ю.М., д.т.н., професор, Київ.

Ємельянова І.А., д.т.н., професор, Харків.

Зіньковський А.П., д.т.н., професор, Київ.

Ковров А.В., к.т.н., професор, Одеса.

Круль Казімеж, професор, Радом, Польща.

Кузьо І.В., д.т.н., професор, Львів.

Ланець О.С., д.т.н., професор, Львів.

Ловейкін В.С., д.т.н., професор, Київ.

Луговський О.Ф., д.т.н., професор, Київ.

Оніщенко В.О., д.екон.н., професор, Полтава.

Павлов С.В., д.т.н., професор, Вінниця.

Паламарчук І.П., д.т.н., професор, Київ.

Петраков Ю.В., д.т.н., професор, Київ.

Поліщук Л.К., д.т.н., професор, Вінниця.

Савицький М.В., д.т.н., професор, Дніпро.

Сальвінський Юзеф, д.і.н., професор, Краків, Польща.

Струтинський В.Б., д.т.н., професор, Київ.

Стоцько З.А., д.т.н., професор, Львів.

Тугай О.А., д.т.н., професор, Київ.

Фаренюк Г.Г., д.т.н., професор, Київ.

Франчук В.П., д.т.н., професор, Дніпро.

Хмара Л.А., д.т.н., професор, Дніпро.

Яхно О.М., д.т.н., професор, Київ.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова оргкомітету:

Назаренко Іван Іванович, д.т.н, професор, зав. кафедри машин і обладнання технологічних процесів КНУБА, президент АБУ.

Заступники голови оргкомітету:

Дєдов Олег Павлович, д.т.н, професор, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів КНУБА.

Гайдайчук Віктор Васильович, д.т.н, професор, зав. кафедри теоретичної механіки КНУБА.

Члени оргкомітету:

Яковенко Валерій Борисович, д.т.н., професор.

Клименко Микола Олександрович, к.т.н., доцент.

Свідерський Анатолій Тофілійович, к.т.н., професор.

Лесько Віталій Іванович, доцент.

Косминський Ігор Владленович, к.т.н., доцент

Делембовський Максим Михайлович, к.т.н., доцент.

Орищенко Сергій Вікторович, к.т.н., доцент.

Міщук Євген Олександрович, к.т.н., доцент.

Ручинський Микола Миколайович, к.т.н., професор.

Секретар конференції:

Дьяченко Олександр Сергійович, к.т.н., асистент.

Зміст

СЕКЦІЯ 1

«ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ, ТЕОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ»

<i>Іван Назаренко</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	10
Напрямки розвитку теорії і практики вібраційних машин будівельної індустрії	
<i>Іван Назаренко¹, Микола Нестеренко², Тетяна Нестеренко², Василь Ведмідь²</i> <i>1 – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,</i> <i>2 – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.</i>	12
Вібраційне обладнання для формування стінових панелей	
<i>Євген Міщук, Іван Назаренко</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	15
Аналіз законів та моделей визначення енергетичних витрат на подрібнення	
<i>Микола Ручинський</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	18
Ефективна установка для виготовлення фундаментних блоків	
<i>Микола Клименко, Максим Делембовський</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	21
Швидкохідний лопатєво-шнековий змішувач для перемішування сухих будівельних сумішей	21
<i>Микола Клименко, Михайло Береговий</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	25
Дослідження гравітаційного вібраційного бетонозмішувача з динамічним балансуванням незрівноважених мас	25
<i>Олександр Дьяченко, Василь Пригоцький, Ігор Маліцький</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	28
Огляд схем вібромайданчиків з вертикальними коливаннями та аналіз можливостей керування параметрами ущільнення	28
<i>Сергій Орищенко</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	32
Обґрунтування та раціональний вибір параметрів вібраційного грохота для сортування будівельних матеріалів	32
<i>Ахмед Абоуелсеуд, Євген Міщук, Дмитро Міщук</i> <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна</i>	35
Розробка валкової дробарки	35
<i>Владислав Кривошеєв, Ігор Ночніченко, Олег Яхно, Олексій Коваль</i> <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна</i>	38
Аналіз впливу пакету присадок на реологічні властивості в'язких рідин при вивченні кавітаційних явищ	38
<i>Олександр Луговський, Ігор Гришко, Олександр Галецький, Андрій Зілінський</i> <i>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна.</i>	44
Дослідження проточної ультразвукової кавітаційної установки	44

Ірина Берник <i>Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна.</i>	46
Ультразвукові кавітаційні технології обробки дисперсних середовищ, як складні динамічні системи «кавітатор – технологічне середовище»	
Олексій Ланець, Павло Майструк, Володимир Майструк, Ірина Деревенько <i>Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.</i>	50
Оптимізація форми та підбір розмірів континуальної ділянки дискретно-континуального міжрезонансного вібростола	
Володимир Гурський¹, Віталій Корендій¹, Павло Крот², Ігор Кузьо¹ <i>1 – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, 2 – Політехніка Вроцлавська, Вроцлав, Польща.</i>	54
Синтез мультичастотних інерційних приводів вібраційних машин	
Віталій Корендій, Олександр Качур, Володимир Гурський. <i>Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.</i>	57
Теоретико-експериментальні дослідження руху колісної платформи з кривошипно-шатунним віброударним приводом	
Петро Молчанов, Тетяна Суржко, Максим Книш <i>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.</i>	64
Модернізація обладнання блоку очистки промивальної рідини	
Василь Савик, Юрій Ілляшенко, Максим Книш <i>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.</i>	66
Покращення характеристик бурових насосів	
Олександр Гаврюков <i>Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Краматорськ, Україна.</i>	69
Дослідження щодо створення кінцевої станції стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування	
Микола Ярошевич, Тетяна Ярошевич, Віктор Тимошук <i>Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.</i>	73
Динаміка вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора	
Андрій Бондаренко <i>Одеська державна академія будівництва і архітектури, Одеса, Україна.</i>	76
Дослідження ефективної і енергоощадної віброустановки для формування тротуарних плит	
Григорій Мачишин, Юрій Абрашкевич <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	79
Ефективне використання переносних відрізних машин	
Григорій Мачишин, Юрій Абрашкевич <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	83
Ефективне та безпечне застосування абразивних робочих органів	
Андрій Запривода <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	88
Розробка методів розрахунку та створення енергоощадних машин поверхневого ущільнення будівельних сумішей	
Юрій Заєць <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	91
Розробка механізованого технологічного модуля для монолітного будівництва	

Володимир Рашківський, Яна Дмитрук <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	95
Дослідження робочих процесів групових будівельних кондукторів	
Володимир Рашківський, Богдан Фецишин <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	98
Зменшення енергосмності процесу різання ґрунтів землерийною технікою з просторово орієнтованим робочим органом	
Володимир Рашківський, Олексій Проскурін <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна</i>	102
Розробка адаптивної рухомої противаги одноківшевого екскаватора	

СЕКЦІЯ 2

«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ СУЧАСНОГО БУДІВНИЦТВА»

Іван Перегінець <i>Науково – технічний центр Академії будівництва України, Київ, Україна</i>	106
Організаційно –технологічні основи відновлення житлового фонду України	
Геррут А. <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	109
Оцінка та аналіз механізації улаштування автомобільних доріг Алжиру	
Володимир Рашківський, Дмитро Лемішко, Максим Волинець <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	112
Розробка механізованого технологічного модуля для монтажу структурного покриття будівлі	
Володимир Рашківський, Антон Саух <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	115
Проектування та використання механізованих технологічних модулів при аварійно-відновлювальних роботах на мостах	
Марія Лященко, Тетяна Кащенко <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	119
Переваги використання енергоощадних будівельних матеріалів на основі аерогелів в оздоровчих центрах	
Любов Макаренко, Олександр Приймак <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	122
Повітрообмін для безпечного повітряного середовища в житлових приміщеннях за допомогою енергоефективних очищувачів повітря	
Ярина Жданова <i>Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури, Київ, Україна</i>	126
Особливості використання відновлюваних джерел енергії при проектуванні вертикальних ферм	
Микола Кузьмінець, Микола Лампека, Валерій Стрілець, Юрій Дубовенко <i>Національний транспортний університет, Київ, Україна</i>	130
Проектування сучасних транспортних засобів студентами дизайнерами: інтеграція навчального процесу у виробництво	
Дар'я Вакуленко, Віктор Мілейковський <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна</i>	133
Вплив тиску всередині та ззовні будівлі на роботу децентралізованих систем вентиляції	

Богдан Волох, Віктор Босенко <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна</i>	136
Аналіз доцільності використання BIM-систем для автоматизації будівництва	
Анатолій Лепешко, Дмитро Прусов <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна</i>	138
Теоретична енергоощадна модель систем трансформаційних етапів транспортної інфраструктури в містобудуванні	
Борис Корнійчук <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	144
Вдосконалення методів виробництва об'ємних залізобетонних конструкцій	
Марта Михіденко <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	147
Забезпечення енергоефективності сільських територій в умовах трансформацій світового устрою (на прикладі с. Ровжі, Київської області)	
СЕКЦІЯ 3	
«МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ, МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ»	
Олег Дедов <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	153
Динамічний моніторинг технічних об'єктів	
Валерій Яковенко, Іван Назаренко, Євген Міщук <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	156
Дослідження та розробка системних моделей із застосуванням параметричної оптимізації	
Oleksandr Terentyev, Ievgenii Gorbatyuk, Anatoliy Sviderskyi <i>Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.</i>	160
Intelligent information technology for testing neural network during diagnostics of technical condition of industrial buildings	
Дмитро Міщук, Євген Міщук, Євгеній Горбатюк <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	167
Практика застосування нейромережі в задачах кінематичного дослідження роботів-маніпуляторів	
Володимир Слюсар <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	171
Оцінка конструктивних та технологічних параметрів баштових кранів	
Віталій Лесько <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	174
Методи оцінки показників безвідмовності гідравлічних приводів машин з урахуванням кореляції умов роботоздатності	
Віталій Лесько, Віталій Слюсаренко <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.</i>	180
Основні принципи системи фірмового обслуговування будівельних машин	
Євгеній Клименко <i>Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна.</i>	183
Науковий підхід щодо визначення залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних конструкцій	

Сергій Охременко

директор ТОВ "Новобудова", Україна.

187

Будівельна біржа – система ефективного використання ресурсів

Володимир Крицький¹, Юрій Гензерський², Валерій Максименко³, Наталія Крицька⁴

1 – АТ «Київський науково-дослідний і проектно - конструкторський інститут «Енергопроект»» (АТ КІЕП), Київ, Україна,

2 – ТОВ «ЛІРА САПР», Київ, Україна,

3 – ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП ДНДІБВ), Київ, Україна,

4 – ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДП ДНТЦ ЯРБ), Київ, Україна.

191

Аналіз працездатності залізобетонної оболонки АЕС в аварійному режимі при розвитку в бетоні деградаційних процесів (таких як ASR, DEF, різні види корозії тощо)

Євгенія Крицька¹, Володимир Крицький², Юрій Гензерський³

1 – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,

2 – АТ «Київський науково-дослідний і проектно - конструкторський інститут «Енергопроект»» (АТ КІЕП), Київ, Україна,

3 – ТОВ «ЛІРА САПР», Київ, Україна.

197

Динамічна поведінка вмісту контейнера для відпрацьованого ядерного палива при його аварійному падінні під час транспортно-технологічних операцій при передачі упаковки на довготривале зберігання

Валерій Макаренко¹, Олена Панченко¹, Юлія Макаренко²

1 - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

2 - Медичний університет «Манітобо», Вінніпег, Канада

202

Дослідження корозійно-механічної стійкості арматурних сталей, призначених для експлуатації в гідротехнічних спорудах

Павло Горбач, Ігор Косминський

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Використання привантажувача при виготовленні тротуарної плитки з додаванням в бетонну суміш активних мінеральних домішок

206

СЕКЦІЯ 1

«ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ, ТЕОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ»

УДК 621.3.011

Напрямки розвитку теорії і практики вібраційних машин будівельної індустрії

Іван Назаренко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Розглянуто основні аналітичні рішення задач теорії вібраційних машин на застосуванні моделей з дискретними та континуальними параметрами. З'ясовано відмінності у визначенні режимів на прикладі технологічних процесів сортування, перемішування та ущільнення будівельних сумішей. Дана оцінка впливу реологічних властивостей середовищ на ступінь зміни параметрів руху вібраційних машин шляхом порівняння представлення їх моделями з постійними та змінними у часі характеристиками. Для дослідження та визначення напрямків розвитку теорії вібраційних машин застосовані загальні закони динаміки, теорія механічних коливань, механіка суцільних середовищ та критерії подібності. Основна теоретична парадигма досліджень ґрунтується на положенні спільного розгляду процесів руху систем машина – середовище, як єдиної синергетичної системи, незалежно від структури та складу цих підсистем. Саме такий підхід із врахуванням взаємовпливу підсистем на загальний рух є передумовою забезпечення технологічних параметрів ефективного процесу, мінімізації часу та витрат енергії. Також такий підхід слугує визначенню напрямків розвитку теорії вібраційних машин будівельної індустрії.

Ключові слова: моделювання, динамічна система, теорія, вібраційні машини, робоче середовище, процес, режими, параметри, енергія, напрямки розвитку.

Одними із перших, де розглядалися вібраційні процеси були роботи [1],[2],[3]. В цих роботах авторами здійснювалися дослідження поведінки бетонної суміші, її реологічні властивості, визначалися амплітуда, частота коливань. Таким же чином окремо досліджувалися вібратори, вібромайданчики та віброустановки [4]. При встановленні параметрів вібромайданчиків взаємодія з бетонною сумішшю зводилася до врахуванні її у вигляді так званої приєднаної маси[4], яка складала певну частину загальної маси бетонної суміші. У рівняннях руху вібромайданчика до його рухомої маси приєднували цю певну частину загальної маси бетонної суміші. Моделювали таку систему дискретними параметрами[5] і тільки згодом з'явилися роботи[6,7], в яких бетонна суміш представлялася системою з розподіленими параметрами, що безумовно було прогресом, принаймні у визначенні технологічних параметрів ущільнення бетонної суміші. З часом в роботі [8] була вирішена задача впливу бетонної суміші, як системи з розподіленими параметрами, на динаміку вібромайданчика, поверхневого та занурюючого вібратора. Саме ці та інші подібні роботи, що базуються на гібридних дискретно-континуальних моделях і являються вихідною інформацією для визначення напрямків розвитку теорії вібраційних машин будівельної індустрії. Вібраційні машини і процеси широко застосовуються у всіх галузях народного господарства. Особливо велике значення отримали вібраційні процеси в будівельній індустрії при виконанні таких операцій як подрібнення і сортування матеріалів, їхнє транспортування, перемішування та ущільнення. Розвиток і вдосконалення машин нерозривно пов'язано з подальшим пошуком високоефективних технологій в будівельній індустрії.

Безперервно вдосконалюючись, технологія залишає свій відбиток і на напрямках розвитку конструкцій вібраційних машин. На основі результатів виконаних досліджень, приведених в роботах[9-12] сформульовані та частково вирішені напрямки розвитку теорії і практики вібраційних машин будівельної індустрії.

1. Дослідження та створення машин з гармонійним збудженням, в тому числі застосуванням пневматичних навісних вібраторів із реалізацією багато компонентного спектру коливань.

2. Розробка та дослідження машин багатоцільового призначення, що поєднують в собі процеси укладання, розподілу і ущільнення бетонної суміші.

3. Впровадження машин, що працюють в зоні, близькій до резонансу з віброударним впливом на ущільнювальну суміш при зниженій частоті коливань.

4. Пошук конструктивних рішень створення машин з змінним амплітудно-частотним режимом коливань.

5. Дослідження та розробка вібраційних машин з нелінійними характеристиками, в роботі яких використовуються ефекти комбінаційних резонансів.

6. Максимальна концентрація енергії робочого органа за рахунок внеску вищих гармонік. Технологічна ефективність вкладу енергії вищих гармонік реалізується за рахунок цілеспрямованого використання удару і вібрації.

7. Застосування додаткових обмежників коливань із відповідним підбором їх жорсткості, вибором раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань. Досягненням цього рішення реалізуються високоефективні режими із мінімальною енергоємністю робочого процесу.

8. Синхронне забезпечення поліфазних, автоколивальних режимів формування. Реалізуються ці режими за рахунок зсуву фаз дебалансів на валах віброустановки або застосуванням динамічних схем з незалежною підвіскою ударника, який здійснює рух під впливом віброзбудника.

9. Реалізація динамічного керування зміною у часі параметрів і режимів руху на основі цілеспрямованого використання внутрішніх властивостей динамічної системи.

Список літератури

1. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. М.: Стройиздат. 1959.-217с
2. Десов А.Е. Вибрированный бетон. М.: Стройиздат. 1938.-123с
3. Шмигальский В.Н. К вопросу неравномерного уплотнения бетонных смесей при объемном вибрировании. Сб-к трудов НИИЖТ, вып. 37, Новосибирск 1963.- С.43-61
4. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Теория и методы вибрационного формирования железобетонных изделий. Л.,Стройиздат,1972.-236с
5. Зубанов М.П. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей и грунта. М.-Л.: Машиностроение.- 1964.- 196с.
6. Назаренко И.И. Определение сил сопротивления бетонной смеси при колебаниях виброплощадки// Горн.,стопит. и дор. машины. - К. 1973.- вып.16.-С.129-135.
7. Маслов А.Г., Пономарев В.М. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. – К.: Будівельник, 1985. – 128 с.
8. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Выща шк., 1985. – 168 с.
9. Нестеренко М. П. Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів // Збірник наукових праць(галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 44. – С. 177 – 181.
10. Ivan Nazarenko, Viktor Gaidaichuk, Oleg Dedov, Oleksandr Diachenko. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol 6, No 1 (90). P. 28–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118731>.
11. Nazarenko, I., Ruchynskiy, M., Delembovskyi, M. The basic parameters of vibration settings for sealing horizontal surfaces International Journal of Engineering and Technology (UAE), 2018, 7(3), стр. 255–259 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85082347333&origin=resultlist>
12. Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Iryna Bernyk, Ivan Rogovskii, Andrii Bondarenk, Andrii Zapryvoda, Volodymyr Slipetskyi, Liudmyla Titova. Determining the regions of stability in the motion regimes and parameters of vibratory machines for different technological purposes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 6, No 7 (108). P. 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THEORY AND PRACTICE VIBRATING MACHINES FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ivan Nazarenko

Abstract. The main analytical solutions of the problems of the theory of vibrating machines on the application of models with discrete and continuous parameters are considered. Differences in the definition of modes on the example of technological processes of sorting, mixing and compaction of construction mixtures. The estimation of the influence of rheological properties of media on the degree of change of motion parameters of vibrating machines by comparing their representation by models with constant and time - varying characteristics is

given. To study and determine the directions of development of the theory of vibrating machines, the general laws of dynamics, the theory of mechanical oscillations, mechanics of continuous media and similarity criteria are used. The main theoretical paradigm of research is based on the position of joint consideration of the processes of movement of machine - environment systems as a single synergetic system, regardless of the structure and composition of these subsystems. This approach, taking into account the interaction of subsystems on the overall movement is a prerequisite for ensuring the technological parameters of an efficient process, minimizing time and energy costs. Also, this approach serves to determine the directions of development of the theory of vibration machines of the construction industry.

Keywords: modeling, dynamic system, theory, vibrating machines, working environment, process, modes, parameters, energy, directions of development.

УДК 69.002.5

Вібраційне обладнання для формування стінових панелей

Іван Назаренко¹, Микола Нестеренко², Тетяна Нестеренко², Василь Ведмідь²
1 – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,
2 – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.

Анотація. Однією з найважливіших умов підвищення ефективності капітального будівництва є створення і широке використання ресурсо-енергозберігаючих та екологічно чистих технологій виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій. Це спонукає виробників вдосконалювати, здешевлювати способи виготовлення залізобетонних виробів та обладнання, впроваджувати безвідходне виробництво, застосовувати прості та надійні механізми. В значній мірі це відноситься до вибору та обґрунтування установок, що здійснюють процес ущільнення. Серед відомих способів ущільнення бетонних сумішей найбільшого поширення набуло вібраційне ущільнення бетонних сумішей. За різними даними, цим способом формують близько 80% всієї кількості бетонних виробів. Запропонована конструкція вібраційної машини для формування стінових панелей.

Ключові слова: вібромайданчик, ущільнення бетонних сумішей, вібробуджувач, вібрація.

Вібраційні машини для формування бетонних і залізобетонних виробів, здійснюючі коливання в просторі під дією різного типу вібробудувачів є складними технічними системами. Рациональне використання цих вібраційних машин в практиці будівельного виробництва залежить від таких показників як: працездатність, під якою розуміється здатність об'єкту виконувати задані функції впродовж визначеного технічною документацією часу; стійкість руху динамічної системи; ефективність ущільнення, що забезпечує високу якість формованих виробів при досить високій продуктивності і мінімальній витраті енергії; безпека роботи [1]. Сучасна вібраційна техніка не в повній мірі забезпечує зазначені вимоги, виходячи із здійсненого аналізу існуючих джерел [2-5] за приведеними нижче критеріями оцінки конструктивних та технологічних параметрів [6]: енергетичний:

$$k_E = P / Q , \quad (1)$$

де P – потужність, Q – вантажопідйомність;
металоємності:

$$k_i = m / Q , \quad (2)$$

де m – маса вібромайданчика;
динамічності:

$$k_a = a / g , \quad (3)$$

де a – прискорення робочого органа, g – прискорення вільного падіння.

Отримані числові значення критеріїв засвідчили передумову, що сучасна техніка за параметрами значно відрізняються між собою. Нами пропонується конструкція віброплощинки до складу якої входить рухома рама з габаритними розмірами в плані 6,2x3,2, виготовлена з швелерів та сталевих листів (рис. 1).

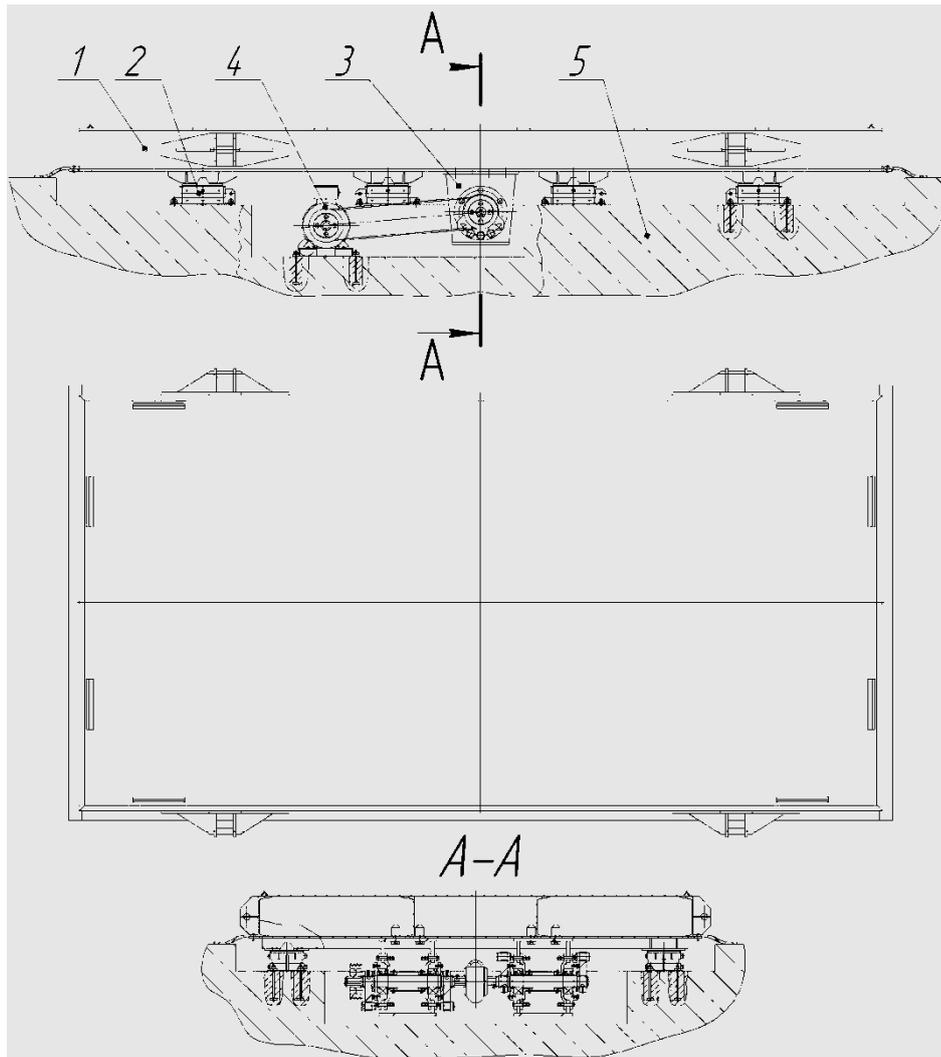


Рис 1. Віброплощадка ВПП-6,3×3,6 для формування ребристих плит покриттів з розмірами рухомої рами у плані 6,2х3,2 м:

1 – рухома рама, 2 – пружна опора, 3 – вібробуджувач крутильних коливань, 4 – електродвигун, 5 – фундамент

У вікнах рухомої рами жорстко прикріплені підвібраторні плити за допомогою яких можливе регулювання кута нахилу вібробуджувача. Підвібраторні плити також мають ряд отворів для кріплення вібробуджувачів, які забезпечують універсальність під більшість промислових вібробуджувачів [7]. Для фіксації форми передбачено жорсткі поперечні упори з можливістю регулювання під різні типи оформи. Рухома рама опирається на 8 гумовометалічних опор, прикріплених безпосередньо до фундаменту віброплощадки. До рухомої рами опори кріпляться за допомогою виступів на опорах, що входять в посадочні отвори в рухомій рамі. Це дозволяє при необхідності швидко зняти рухому раму для огляду та очищення пружних опор та прямиків фундаменту, що дуже зручно в процесі експлуатації.

Віброплощадка має мінімум комплектуючих виробів. Виготовлення віброплощадки не представляє ніяких технічних складностей і вона може бути виготовлена малопотужними підприємствами. Запропоноване обладнання працює з частотою 50 Гц, що забезпечує дотримання санітарно-технічних норм по рівню шуму без яких-небудь захисних заходів.

Складені рівняння у горизонтальній та вертикальній площинах руху віброплощадки із урахуванням взаємодії з бетонною сумішшю. Рішенням рівнянь встановлені закономірності руху та визначені основні параметри робочого процесу ущільнення бетонної суміші для формування стінових панелей. Так, амплітуда вібропереміщень рухомої рами під навантаженням по горизонталі має числові значення: 0,8...1,2 мм, по вертикалі - 0,6...0,8 мм. Передбачено

регулювання параметрів шляхом ступінчатої зміни статичного моменту дебалансів віброзбуджувача за рахунок швидкого встановлення, або знімання додаткових вантажів в отвори дебаланса. Представляється можливим і регулювання частоти коливань за умови встановлення у необхідності додаткового обладнання.

Технічне обслуговування віброплощадки зводиться до періодичного поповнення мастилом підшипникових вузлів віброзбудника і заміни підшипників з періодичністю в два роки, а також до заміни клинових пасів. Пружні гумові металеві опори не потребують спеціального догляду, крім періодичного очищення від компонентів бетонної суміші, що на них потрапляють[2].

З досвіду проектування і експлуатації можна зазначити, що втрата робочих параметрів опор призводить до погіршення якості формування виробів та руйнування металоконструкцій машини.

Список літератури

1. Nesterenko M.P., Nesterenko M.M., Orysenko O.V., Sklyarenko T.O. (2019). *Vibrating tables with the spatial oscillations of the moving frame technological properties for forming reinforced concrete products*. Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2(53). 13- 18
2. Нестеренко М.М. *Визначення основних характеристик коливань рухомої рами на пружних прокладках. Збірник статей і тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів» (м. Кіровоград, 3 – 5 жовтня 2013 р).* – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 67 – 71.
3. Олехнович К.А., Зазимко В.Г. *Основные тенденции развития станкового уплотнения бетонных смесей. Новое в технологии сборного железобетона.* – МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского. М.: 1985. С. 90–96.
4. Савинов О.А., Лавринович Е.В. *Вибрационная техника уплотнения и формования бетонных смесей.* – Л.: Стройиздат, 1986, -280с.
5. Шмигальский В.Н. *Формование изделий на виброплощадках.* М.: Стройиздат, 1968. 102с.
6. Назаренко І.І. *Прикладні задачі теорії вібраційних систем: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Назаренко І. І. – 2-ге вид. К.: Вид. дім "Слово", 2010. 440с.*
7. Nazarenko I.I., Dedov O.P., Diachenko O.S. (2018) *Overview of the constructions of existing hinged vibrators and the study of the efficiency of their use to improve the compacting of reinforced concrete products on vibration platforms*. Structural engineering, 39, 46-55

VIBRATION EQUIPMENT FOR FORMING WALL PANELS

Ivan Nazarenko, Nesterenko Mykola, Nesterenko Tetiana, Vedmid Vasil

Abstract. *One of the most important conditions for improving the efficiency of capital construction is the creation and use of resource-saving and environmentally friendly technologies for the production of concrete and reinforced concrete structures. This encourages manufacturers to improve, reduce the cost of methods manufacturing reinforced concrete products and equipment, to introduce waste-free production, to use simple and reliable mechanisms. This usually refers to the selection and justification of installations that carry out the sealing process. Among the known methods of compaction concrete mixtures, vibration compaction of concrete mixtures has become the most widespread. According to various data, this method forms about 80% of the total number of concrete products. The design of a vibrating machine for forming wall panels is proposed.*

Keywords: *vibrating machine, compaction of concrete mixtures, vibration exciter, vibration.*

УДК 693.1**Аналіз законів та моделей визначення енергетичних витрат на подрібнення****Євген Міщук, Іван Назаренко**

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** З метою розробки системної методики розрахунку енергозатрат процесу дроблення був проведений аналіз основних енергетичних законів, які описують руйнування матеріалів в камерах дробильних машин. На основі аналізу енергетичних затрат реальних дробильних машин та експериментальних даних, по затратах енергії на руйнування матеріалів були побудовані точкові діаграми залежності енергії руйнування від коефіцієнту пропорційності. Було встановлено, що найкращу відповідність до затрат енергії дає закон Бонда. Проте закон Бонда не враховує затрати енергії на пружну, пластичну деформації та на утворення тріщин в матеріалі. Для подальшого дослідження та створення системної методики розрахунку енергозатрат в роботі запропоновано використати нейронно-нечітку систему прогнозуючих обчислень, яка заснована на адаптивній нейронній мережі (ANFIS).*

***Ключові слова:** енергія; дроблення; коефіцієнт пропорційності; гірські породи; напруження руйнування.*

Вступ. При розгляді процесу руйнування в камері дроблення дробарки слід враховувати наступні основні параметри матеріалу: фізичні властивості, кількість, методи попередньої обробки, розміри камери дроблення, метод прикладення навантаження, форму поверхні дроблення та ін. Тобто число параметрів, які визначають процес руйнування є великим. Більшість теорій які описують затрати енергії на процес руйнування побудовані на емпіричних показниках та не підкріплені теоретичними основами процесу. Таким чином дослідження енергетичних параметрів процесу дроблення та створення теоретично обґрунтованої методики визначення енергозатрат для більшості дробильних машин є актуальною задачею [10].

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Дослідження енергії руйнування гірського масиву на основі вдосконаленої залежності Гріфітса розглянуто в роботі [1]. Залежність по визначенню енергії руйнування містить параметр критичної довжини тріщини та скорегований параметр питомої поверхневої енергії на основі регресійного аналізу експериментальних даних. Дана залежність є дещо складною у використанні, так як включає в себе критичну довжину тріщини та питому поверхневу енергію, визначення яких є не простою задачею. В роботі [2] енергію руйнування пропонується визначати на основі залежності Дж. Свенсена та Дж. Мюркеса, яка побудована на гіпотезі Ф. Бонда. Співвідносячи залежність Дж. Свенсена та Дж. Мюркеса із затратами електроенергії, автор виводить параметр сталої сили струму, яка необхідна для зменшення розміру частинки, що руйнується. Класична гіпотеза затрат енергії на процес руйнування (гіпотеза об'ємів) використовується в роботі [3] для розрахунку критичної швидкості вильоту матеріалу з ротора відцентрово-ударної дробарки. Дана гіпотеза найкраще підходить для опису затрат енергії при крупному дробленні [4]. Гіпотези, що наведені в джерелах [2, 3], не враховують наявності розривів структури матеріалу у вигляді тріщини. В роботі [5] енергію руйнування матеріалу в камері дроблення пропонують визначати на основі прямого вимірювання потужності двигуна під час роботи дробарки. Даний метод базується на статистичних даних та може бути застосований, як середній показник затрат енергії і тільки для визначеного типу машин. Приведені вище методи визначення енергії руйнування матеріалу суттєво розрізняються між собою, базуються на різних енергетичних гіпотезах, як за прийнятими допущеннями, так і за отриманими результатами.

Мета і задачі дослідження.

Метою дослідження є аналіз основних енергетичних законів процесу дроблення та розробка системної методики розрахунку енергозатрат процесу дроблення.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Всі існуючі на сьогодні енергетичні закони які описують процесу руйнування в камері дроблення дробильних машин можна умовно розділити на дві групи. Перша група це основні закони і друга група це енергетичні закони які доповнюють або уточнюють закони із першої групи.

До першої групи енергетичних законів відносяться наступні: 1) закон Рітінгера (гіпотеза поверхонь); 2) закон Кірпічева-Кіка (гіпотеза об'ємів); 3) закон Бонда; 4) закон Ребіндера. Третій та четвертий закони є варіацією перши двох.

Перший закон Рітінгера встановлює, що енергія руйнування матеріалу є пропорційною новоутвореній поверхні. Тоді повна енергія руйнування для тіла кубічної форми за теорією Рітінгера повинна бути рівною:

$$A_{\Sigma rit} = 3A_{rit} = 18K_{rit}(i-1)D^2. \quad (1)$$

де: D – розмір вихідного матеріалу; i – степінь дроблення.

Для оцінки енергозатрат скористаємося відкритими джерелами. Так в джерелі [7] зазначається, що значення питомої енергії дроблення для шокових дробарок знаходиться в межах 0,828-1,98 кДж/кг. Дане значення отримано при дробленні магматичних порід, а саме граніт, діабаз, метабазальт. Для осадових порід (алевроліт) питома енергія руйнування приблизно дорівнює 1,26 кДж/кг.

В джерелі [8] були проведені дослідження по визначенню питомої енергії руйнування вапнякових порід, яка склала 1,012-3,298 кДж/кг. В джерелі [9], на основі дослідження, зазначається, що питома енергія руйнування граніту дорівнює 1,5 кДж/кг, а для вапняку приблизно 1 кДж/кг. Дані дослідження дають нам практичні значення меж витрат питомої енергії для шокових дробарок при руйнуванні відповідних гірських порід.

В джерелі [5] встановлено, що енергія руйнування діабазу в камері дроблення шокової дробарки лежить в межах 2,56-4,09 кДж/кг. Для осадових порід значення питомої енергії руйнування складає 1,16-1,93 кДж/кг. Проте слід зазначити, що енергія в роботі [5] вимірювалась безпосередньо на валу двигуна. В попередньо розглянутих роботах енергія дроблення визначалась або в камері дроблення дробарки або за допомогою спеціальних тестів на руйнування.

На основі експериментальних даних по затратах енергії на процесу руйнування та з урахуванням різних типів машин були побудовані точкові діаграми для шокових та конусних дробарок. На рис. 1, а та б, точки відображають затрати енергії для різних типів машин. Горизонтальна лінія відображає нижню межу по експериментальним затратах енергії на кілограм дробленого матеріалу. Нижня межа затрат енергії для шокових дробарок становить 0,62 кДж/кг. Для конусних дробарок нижня межа складає 0,828 кДж/кг. Вертикальна лінія відсікає діапазон зміни коефіцієнту пропорційності для відповідного класу машин. Так для шокових дробарок діапазон зміни коефіцієнту пропорційності по Рітінгеру варіює від 0 до 1,8 для більшості шокових дробарок. Для конусних дробарок цей коефіцієнт варіює в межах від 0 до 8.

Такий самий принцип був використаний при розгляді закону Кірпічева-Кіка. Закон Кірпічева-Кіка встановлює, що енергія AV , яка необхідна для однакової зміни форми геометрично подібних і однорідних тіл, змінюється пропорційно об'ємам або вагам цих тіл.

Сама залежність має наступний вигляд:

$$A_v = K_{к.-к.} D_0^3 = \frac{\sigma_{ст}^2 V}{2E}, \quad (2)$$

де: $K_{к.-к.}$ – емпіричний коефіцієнт пропорційності, дж/м³; V – об'єм кубічного куска з ребром D_0 ; $\sigma_{ст}$ – напруження, яке виникає при деформації дробленого тіла (межа міцності матеріалу на стиск), Н/м²; E – модуль Юнга, Н/м².

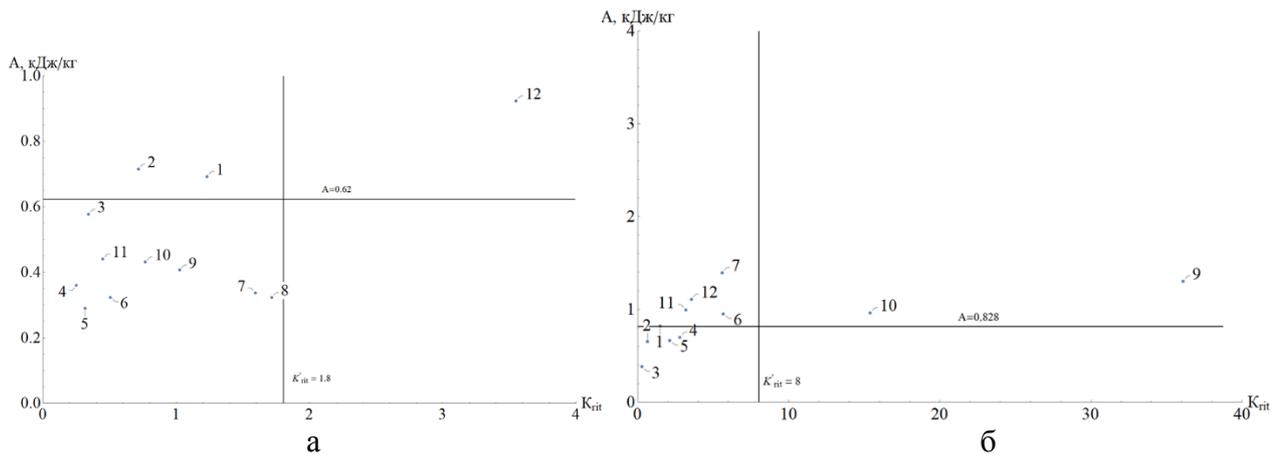


Рис. 1. Діаграми затрат енергії в залежності від коефіцієнту пропорційності по теорії Ріттингера: а – щоківні дробарки; б – конусні дробарки

Для аналізу закону Кірпічева-Кіка додатково була складена таблиця значень фізичних параметрів поширених будівельних матеріалів. Таким чином були побудовані точкові діаграми залежності затрат енергії від коефіцієнта пропорційності по Кірпічеву-Кіку, рис. 2. Додатково для тестування при побудові графіку рис. 2 до розгляду приймалась деяка кількість інженерних матеріалів. Тому діапазон зміни енергії для поширених будівельних матеріалів, якими в основному є гірські породи, окреслений червоним прямокутником на графіку.

Висновки. При аналізі основних енергетичних законів було встановлено, що найкращу відповідність до затрат енергії в реальних дробильних машинах надає закон Бонда. Закони Ріттингера та Кірпічева-Кіка мають значний розкид показників по затратам енергії, а також погано корелюються з експериментальними даними.

Розглядаючи закон Бонда було встановлено, що цей закон має багато вдосконалень. Це свідчить про те, що закон Бонда при різних умовах робочого процесу також дає похибку.

Для вирішення задачі по визначенню енергетичних затрат було запропоновано використати метод побудований на використанні нейронно-нечіткої системи прогнозуючих обчислень, яка заснована на адаптивній нейронній мережі (ANFIS).

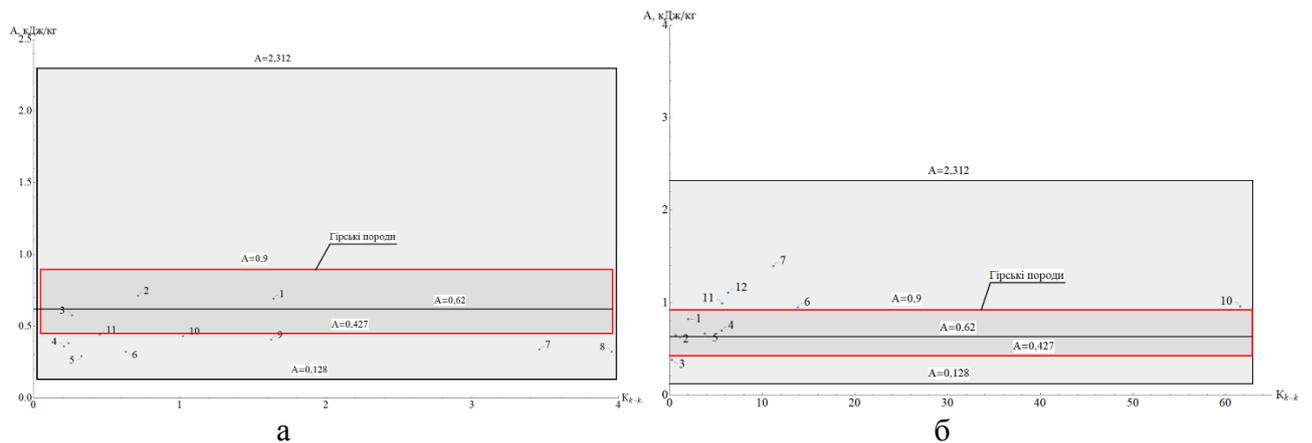


Рис. 2. Діаграми затрат енергії в залежності від коефіцієнту пропорційності по теорії Кірпічева-Кіка: а) щоківні дробарки; б) конусні дробарки

Список літератури

1. Terentyev, O. M., & Strelcova, I. M. (2015). Energy intensity and specific surface energy of rock fracture by magnetic-hydrocavitation load. *Bulletin of NTUU "KPI", Mining Series*, 28, 29–35 [in Ukrainian].
2. Pothina, R., Kecojevic, V., Klima, M. S., & Komljenovic, D. (2007). Gyrotory crusher model and impact parameters related to energy consumption. *Mining, metallurgy & exploration*, 24(3), 170–180. <https://doi.org/10.1007/bf03403212>
3. Sokur, M., Biletskyi, V., Sokur, L., Bozhyk, D., & Sokur, I. (2016). Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(7(81)), 34–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71983>.

4. Fladvad, M., & Onnela, T. (2020). Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates. *Minerals Engineering*, 151, 106338. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106338>.
5. Tomislav Korman, Gordan Bedeković, Trpimir Kujundžić, Dalibor Kuhinek [2015] Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of Jaw Crusher. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, January 2015;51(2):461–475. <https://10.5277/ppmp150208>.
6. Abuhasel, K.A. A Comparative Study of Regression Model and the Adaptive Neuro-Fuzzy Conjecture Systems for Predicting Energy Consumption for Jaw Crusher. *Appl. Sci.* 2019, 9, 3916. <https://doi.org/10.3390/app9183916>.
7. Donovan J. G., 2003, Fracture toughness based models for the prediction of power consumption, product size, and capacity of jaw crushers, Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
8. Tosun A., Konak G., 2014, Development of a model estimating energy consumption values of primary and secondary crushers, *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12.
9. Refahi A., Mohadesi J.A., Rezai B., 2009, Comparison between bond crushing energy and fracture energy of rocks in a jaw crusher using numerical simulation, *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.*, 109, 709-717.
10. Nazarenko, Ivan and Mishchuk, Yevhen and Kyzminec, Nikolai and Oryshchenko, Serhii and Fedorenko, Oleg and Tsepelev, Sergii, Research of Processes of Producing Materials by Technical Power Loading Systems (December 29, 2021). *Dynamic processes in technological technical systems*. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 14-42. doi: 10.15587/978-617-7319-49-7.ch2.

ANALYSIS OF LAWS AND MODELS OF DETERMINATION OF ENERGY EXPENDITURE ON CRUSHING

Yevhen Mishchuk, Ivan Nazarenko

Abstract. In order to develop a systematic method for calculating the energy consumption of the crushing process, an analysis of the basic energy laws describing the destruction of materials in the chambers of crushing machines. Based on the analysis of energy costs of real crushing machines and experimental data, on the cost of energy for the destruction of materials were plotted diagrams of the dependence of the energy of destruction on the coefficient of proportionality. Bond's law has been found to be the best match for energy costs. However, Bond's law does not take into account the cost of energy for elastic, plastic deformation and the formation of cracks in the material. For further research and creation of a systematic methodology for calculating energy consumption, it is proposed to use a neural-fuzzy system of predictive calculations, which is based on the adaptive neural network (ANFIS).

Keywords: energy; fragmentation; proportionality factor; rocks; stress of destruction.

УДК 621.3.011

Ефективна установка для виготовлення фундаментних блоків

Микола Ручинський

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Досліджено процес виготовлення фундаментних блоків на експериментальній вібраційній установці з віброударним режимом коливань. Встановлено, що характер зміни амплітуди коливань вібраційної установки по висоті шару суміші підтверджує наявність хвильових процесів у суміші. При цьому виявлено, що контактний тиск у зоні розподілу піддона і суміші дає можливість визначити загальний опір бетонної суміші на коливання робочого органу вібраційної установки. Визначені динамічні параметри бетонної суміші. Так, модуль пружності суміші децю збільшується із збільшенням її жорсткості, а в той же час коефіцієнт втрат зменшується, але в меншій пропорції, ніж збільшення модуля пружності. Отримані числові значення динамічних параметрів обмежників коливань вібраційної установки. Так встановлено, що у межах частот, на котрих працюють віброударні установки й майданчики, модуль пружності гуми практично є постійною величиною. Коефіцієнт розсіяння енергії залежить від частоти коливань. Проведені дослідження режимів та параметрів з віброударним режимом коливань показали високу ефективність установки для виготовлення фундаментних блоків. Такий результат є основою для ствердження про можливість підвищення ефективності ущільнення суміші на субрезонансних та суперрезонансних режимах роботи. Порівняння результатів розрахунків та дослідів показали достатню збіжність по амплітуді коливань. Для формування фундаментного блоку розбіжність

для амплітуди коливань складає 11%, а для потужності 14%. Отримані числові значення динамічних характеристик суміші і елементів робочого органу являються основою для розробки методики інженерного розрахунку параметрів віброударної резонансної машини.

Ключові слова: вібраційна установка, фундаментний блок, бетонна суміш, модуль пружності, коефіцієнт розсіяння енергії, режими, віброударний процес, параметри, амплітуда, частота коливань, ефективність.

Фундаментні блоки є важливим та поширеним виробом в будівництві. Ущільнення суміші при виробництві блоків здійснюється, як правило, глибинними вібраторами в стаціонарних формах з використанням рухомих сумішей. Такий принцип виробництва є малоефективним, характеризується низькою продуктивністю, а в деяких випадках - і низькою якістю готового виробу. Вирішення проблеми можливе за рахунок застосування жорстких сумішей, ущільнення яких потребує використання інтенсивної вібрації і удару. Забезпечення віброударного резонансного режиму можливе за рахунок коректного визначення та врахування тих параметрів і характеристик машини і середовища, які впливають на згаданий режим роботи. Таким чином, виникає задача дослідження та створення спеціальної віброустановки для формування фундаментних блоків з пустотами. Ідея створення такої машини ґрунтується на використанні ефекту резонансного віброударного режиму з врахуванням внутрішніх пружно-інерційних властивостей системи «машина-середовище».

Для реалізації зазначеної ідеї були здійснені теоретичні дослідження, що являли собою оцінку взаємодії робочого органу віброустановки із середовищем та визначення впливу цього середовища на її рух [1,2]. Загальноприйнятого методу оцінки впливу середовища не існує. Різні підходи під час і дають різні результати, що справедливо тільки в рамках проведених експериментів. Заслугоує уваги метод оцінки впливу шляхом визначення контактної тиску суміші на робочий орган, приведений в роботу [3]. Контактний тиск враховує всі динамічні параметри суміші - пружно-інерційні і дисипативні. Пружно-інерційні сили входять у вигляді деякої приведеної маси, а дисипативні - коефіцієнтом втрат енергії. Оскільки в роботах [3,4] контактний тиск визначається для суміші, що мала висоту до 0,5 м, а фундаментний блок має висоту $h=0,6$ м виникла необхідність у проведенні експерименту за вище приведеною методикою. Досліди проводилися на реальній установці. Отримані осцилограми амплітуд коливань і контактної тиску, вимірювання та фіксацію яких було передбачено методикою досліджень засвідчили наступне. За характером зміни осцилограм амплітуд коливань і контактної тиску є нелінійним. На осцилограмах відмічається наявність окрім основної і вищих гармонік, що викликано віброударним режимом коливань форми. Окрім цього, ще виявлено зміну напрямлення тиску, відміченого на осцилограмах, як і амплітуди коливань при певній висоті стовпа суміші. За даних умов досліджень, зміна напрямку руху шарів суміші отримана на висоті шару $h=0,4$ м датчиком, який був установлений на висоті $h=0,3$ м, тобто до вільної поверхні шару суміші залишалася відстань 0,1 м. Тобто, шари суміші від $h>0,3$ м до $h=0,6$ м рухаються у протилежній фазі з шарами, що розташовані на висоті $h<0,3$ м. Отримані результати для умов проведення дослідів дають змогу стверджувати, що бетонна суміш є надто складною з точки розгляду її, як моделі. Пояснити це можливо наявністю хвильових явищ у суміші. Можна допустити і таке явище, як розподілення маси суміші на дві складові, тобто розглядати її як двомасову систему з вузлом в точці, що в рамках проведених дослідів, приблизно знаходяться на висоті $h\approx 0,3$ м. Обробка осцилограм показує, що кількісні характеристики процесу є більш визначеними, ніж якісні. Зі зміною висоти шару амплітуда коливань зменшується до висоти $h\leq 0,3$ м. На висоті $h=0,3-0,4$ м є невелике збільшення амплітуди коливань від значень $x_0\approx 0,45$ мм до $x=0,57$ мм (висота 0,4-0,5 м) і знову зменшується при висоті $h=0,6$ м і дорівнює 0,35 мм. Щодо тиску, то контактний тиск із збільшенням висоти шару суміші від $h=0,1$ м до $h=0,3$ м зростає від значень $\sigma =5,11$ кПа. При висоті $h=0,4$ м тиск дещо зменшується, а потім знову зростає. За

результатами обробки певної серії дослідів в таблиці 1 наведені середні числові значення параметрів робочого процесу руху при зміні висоти за частоти коливань робочого органу $\omega = 157$ с-1.

Таблиця 1. Середні числові значення параметрів робочого процесу ущільнення бетонної суміші на вібраційній установці.

Висота шару суміші, h , м	Середня щільність суміші, ρ , кг/м ³	Напіврозмах коливань, $x \cdot 10^{-3}$, м	Тиск бетонної суміші, σ , кПа	
			В контактній зоні	В шарах суміші
0,1	2250	0,62	3,67	-
0,2	2320	0,50	4,32	1,18
0,3	2360	0,45	5,11	1,02
0,4	2380	0,57	5,02	1,32
0,5	2400	0,51	4,28	0,82
0,6	2400	0,35	3,85	-

За результатами даних, що приведені в таблиці 1, побудовані графіки розподілення тиску і амплітуд коливань (рис. 1)

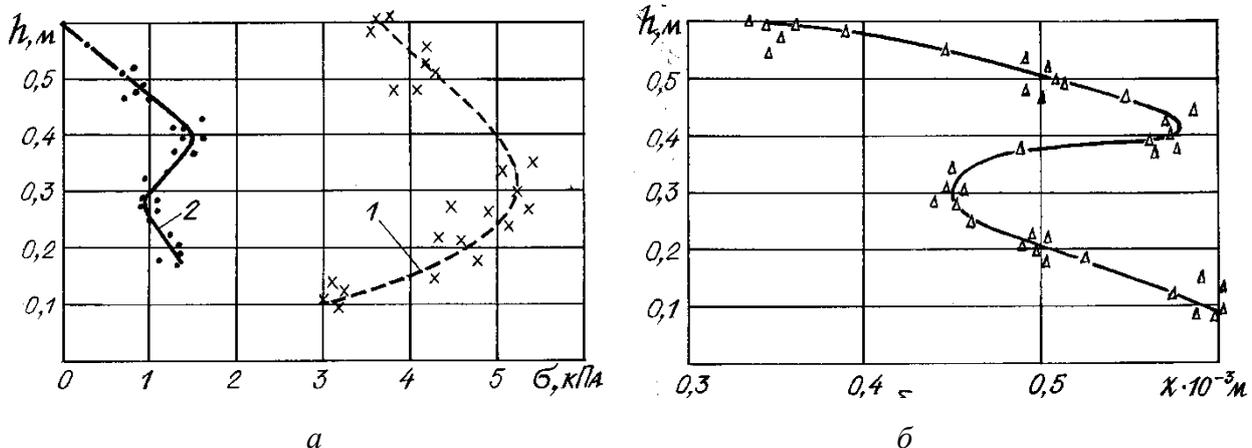


Рис.1. Графіки розподілення тиску (а) і амплітуд коливань (б) зі зміною висоти стовпа суміші: 1 - контактний тиск; 2 - тиск в шарах суміші.

Із наведених графіків слідує, що розподіл тиску і амплітуд коливань зі зміною висоти стовпа суміші має складний характер. Відмічено, що характер розподілу тиску в шарах суміші і в контактній зоні дещо відрізняються один від одного, що можливо в шарах суміші маємо відносний тиск.

Результати виконаних досліджень враховані при визначенні режимів та в методиці розрахунків параметрів вібраційної установки.

Список літератури

1. Назаренко І.І., Ручинський М.М. Теоретичні дослідження динаміки машин для формування фундаментних блоків. Прогресивные технологии и машины для производства стройматериалов, изделий и конструкций. Тез. докл. первой Всеукр. научно-практ. конф. - Полтава, 1996, с. 146-147.

2. Ручинський М.М. Визначення амплітуд резонансів в ударно-вібраційних системах//Техніка будівництва, Київ, АБ України, 1997, №1, с. 67-68.
3. Чубук Ю.Ф., Назаренко І.І., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Вища школа, 1985 – 168с
4. Назаренко І.І. Высокоэффективные виброформовочные машины. - К.: Вища школа, 1988. - 143 с.

Effective installation for the manufacture of foundation blocks.

Mykola Ruchynsky

Abstract. The process of manufacturing foundation blocks on an experimental vibration unit with vibration-shock vibration regime has been studied. It is established that the nature of the change in the amplitude of vibrations of the vibrating installation along the height of the mixture layer confirms the presence of wave processes in the mixture.. It was found that the contact pressure in the area of distribution of the pallet and the mixture makes it possible to determine the total resistance of the concrete mixture to the vibrations of the working body of the vibrating installation. The dynamic parameters of the concrete mixture are determined. Thus, the modulus of elasticity of the mixture increases slightly with increasing stiffness, and at the same time the loss factor decreases, but in a smaller proportion than the increase in modulus of elasticity. The numerical values of the dynamic parameters of the vibration limiters of the vibrating installation are obtained. Thus, it is established that within the frequencies at which vibration shock units and sites operate, the modulus of elasticity of rubber is practically a constant value. The energy dissipation coefficient depends on the frequency of oscillations. Studies of modes and parameters with vibration-shock mode of oscillations have shown high efficiency of the installation for the manufacture of foundation blocks. This result is the basis for the statement about the possibility of increasing the efficiency of compaction of the mixture on subresonance and superresonance modes of operation. Comparison of the results of calculations and experiments showed sufficient convergence in the amplitude of oscillations. For the formation of the foundation block, the difference for the amplitude of oscillations is 11%, and for power 14%. The obtained numerical values of the dynamic characteristics of the mixture and the elements of the working body are the basis for the development of methods for engineering calculation of the parameters of the vibratory shock resonant machine.

Keywords: vibration unit, foundation block, concrete mixture, modulus of elasticity, energy dissipation coefficient, modes, vibration shock process, parameters, amplitude, oscillation frequency, efficiency.

УДК 621.9

Швидкохідний лопатєво-шнековий змішувач для перемішування сухих будівельних сумішей

Микола Клименко, Максим Делембовський

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. У роботі поданий аналіз конструкцій сучасних високошвидкісних змішувачів примусової дії для отримання сухих будівельних сумішей, а також показано шляхи усунення існуючих недоліків змішувачів даного класу. На основі проведених теоретичних досліджень процесу змішування в розробленому лопатєвому змішувачі з високошвидкісним режимом роботи представлені аналітичні залежності, що описують процес його енергоспоживання, а також вирази, що дозволяють визначити взаємозв'язок між його геометричними та конструктивно-технологічними параметрами. На підставі виконаних досліджень отримано аналітичні вирази для визначення раціональних режимів роботи високошвидкісних лопатєвих змішувачів для отримання сухих будівельних сумішей.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, шнековий швидкохідний змішувач, моделювання, процес перемішування, питомі показники ефективності, частота обертання, енергетичні витрати, інтенсивність перемішування.

Досягнення мінімальних енергетичних витрат при отриманні різних сумішей з високою якістю є в даний час актуальним завданням і можливе за рахунок вирішення питань у підсистемі формування складу та стабілізації модифікованих сухих будівельних сумішей, а також вдосконалення змішувального обладнання з можливістю використання найефективніших принципів змішування [4-7].

Відомо [2], що найбільшого поширення в якості критерію оцінки якості змішування сухих сумішей отримав коефіцієнт неоднорідності (варіації), рівний:

$$V_c = \frac{S \cdot 100}{\bar{m}} = \frac{100}{\bar{m}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{m})^2}, \%$$

де x_i - значення випадкової величини X в i -му досліді (вміст ключового компонента в i -й пробі); \bar{m} - середнє арифметичне спостережуваних значень величини X (середнє арифметичне вмісту ключового компонента у всіх пробах); n - загальна кількість відібраних проб.

Відповідно до досліджень [3] оцінювальна шкала якості змішування для переважної більшості будівельних сумішей може бути подана наступним чином: $V_c < 3\%$ - відмінне перемішування; $V_c = 4-6\%$ - хороше перемішування; $V_c = 7-15\%$ - задовільне перемішування; $V_c > 15\%$ - незадовільне перемішування.

Поряд з цим, витрати енергії на утворення процесу псевдозрідження у високошвидкісних змішувачах тісно пов'язана з факторами, що визначають циркуляцію частинок матеріалу всередині змішувача та станом шару в даний момент. Ластовцевим О.М. та Хвальновим О.М. експериментально було встановлено, що у період ущільнення шару матеріалу із збільшенням колової швидкості обертання вертикального лопатевого валу енергоспоживання зростає плавно [2]. Відповідно до цього, ними запропонована наступна залежність для розрахунку потужності в процесі ущільнення суміші $P_{уц}$ до моменту псевдозрідження:

$$P_{уц} = c \cdot \rho \cdot \omega^{1,2} \cdot L \cdot (b \cdot \sin \alpha)^{0,32} \cdot H^{1,04} \cdot K_y,$$

де c - коефіцієнт опору в режимі ущільнення; ρ - насипна щільність матеріалу, кг/м^3 ; ω - кутова швидкість обертання, рад/с ; b - ширина лопаті вертикального валу, м; L - довжина лопаті вертикального валу, м; α - кут атаки лопаті валу, H - висота шару матеріалу над лопаттю, м; K_y - коефіцієнт, що враховує ступінь усадки матеріалу в момент роботи лопатей вертикального валу.

Проаналізувавши технічні характеристики змішувачів сухих будівельних сумішей, були визначені залежності потужності і маси змішувачів від їх об'єму. Такі залежності були вперше запропоновані Макаровим Ю.І. у вигляді емпіричних формул, що застосовувалися для попередніх розрахунків змішувачів [1]:

$$\text{для потужності} - P = 34 \cdot V^{0,98} \text{ кВт},$$

$$\text{для маси} - m = 5100 \cdot V^{0,75} \text{ кг}$$

Апроксимувавши значення потужностей та мас конструкцій існуючих змішувачів методом ступеневої регресії, було побудовано узагальнювальні криві (рис. 1) і встановлено нові емпіричні залежності.

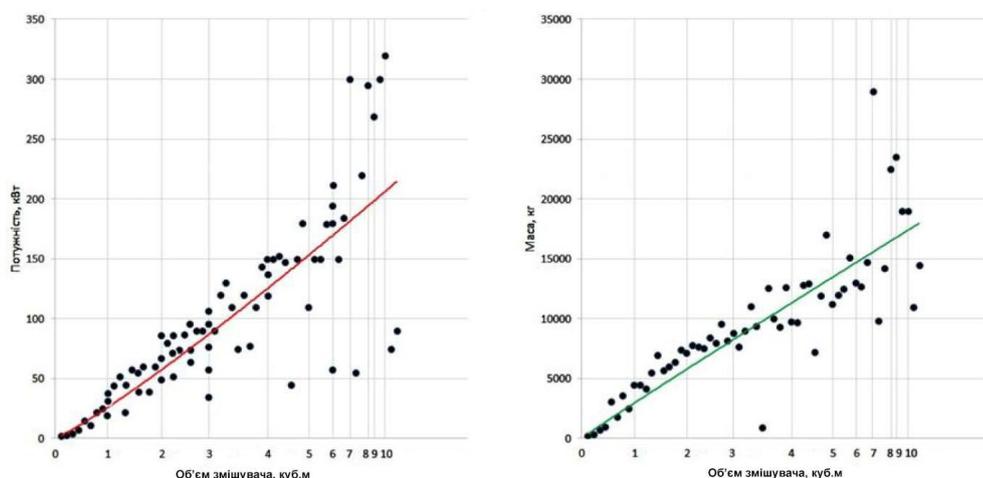


Рис. 1. Узагальнювальні криві потужностей та мас існуючих змішувачів

Порівнявши залежності Макарова Ю.І. (P_1, m_1) з отриманими (P_2, m_2) (рис. 2), можна зробити висновок, що вони застаріли, а питомі показники потужності і маси змішувачів суттєво знизилися.

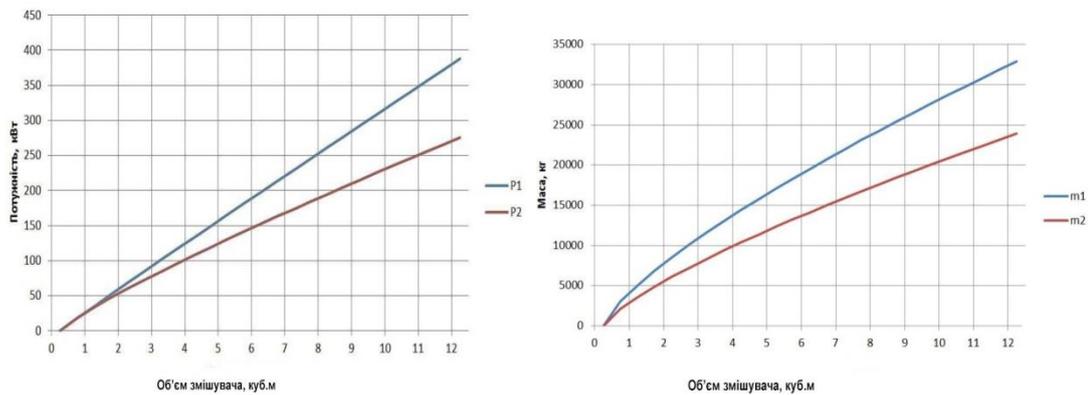


Рис.2. Графіки порівнянь залежностей Макарова Ю.І. та нових емпіричних залежностей

Отже, для попереднього розрахунку змішувачів слід використовувати уточнені емпіричні формули:

$$\begin{aligned} \text{потужність} - P_{\text{уточ.}} &= 32,5V_{\text{г.с.}}^{0,86}; \text{ кВт,} \\ \text{маса} - m_{\text{уточ.}} &= 3620V_{\text{г.с.}}^{0,76}, \text{ кг.} \end{aligned}$$

Оскільки геометричні параметри змішувача чи не найважливіші для його ефективної роботи та якості виробленої суміші, всі запропоновані раніше залежності для розрахунку геометричних параметрів змішувача слід переглянути.

Для визначення взаємозв'язку між конструктивними параметрами барабана та технологічними параметрами змішувача розглянемо рух елементарного об'єму суміші по гвинтовій перфорованій поверхні лопаті барабана, розташованій перпендикулярно до його циліндричної поверхні (рис. 3).

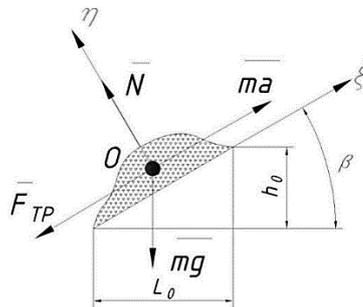


Рис. 3. Схема сил, що діють на елементарний об'єм матеріалу у суміші

Відповідно до розрахункової схеми на рис.5 знаходимо проекції сил на осі двовимірної системи координат « $\xi\theta\eta$ »:

$$\begin{aligned} \text{На вісь } \eta: \quad & N - mg \cos \beta = 0. \\ \text{На вісь } \xi: \quad & ma = mg \sin \beta + fN, \end{aligned}$$

де f - коефіцієнт тертя суміші по гвинтовій поверхні лопаті; m – маса елементарного об'єму суміші; L_0 – довжина проекції гвинтової перфорованої поверхні лопаті барабана; β – кут підйому гвинтової поверхні лопаті:

$$\beta = \arctg \frac{h_0}{L_0}.$$

З урахуванням значення кута β і інтегрування співвідношення проекцій сил на ось ξ , отримаємо:

$$v_\xi = gt(\sin \beta + f \cos \beta) + C_v.$$

Постійна інтегрування визначається з наступної початкової умови:

$$\text{при } t = 0: v_\xi = \frac{R_2 - R_1}{2} \omega \cos \beta,$$

де ω – частота обертання вертикального валу; R_1 - відстань від осі обертання до проекції

внутрішньої частини поверхні пера на горизонтальну площину; R_2 - відстань від осі обертання до корпусу змішувача.

На підставі прийнятих початкових умов вираз розв'язку диференційного рівняння набуває такого вигляду:

$$\xi = \frac{gt^2(\sin\beta + f \cos\beta)^2}{2} + \frac{(R_2 - R_1)}{2} \omega t \cos\beta$$

Оскільки об'єм суміші на перфорованій спіральній поверхні повинен пройти шлях L_φ , запишемо залежність довжини твірної гвинтової поверхні лопаті барабана L_φ від конструктивних параметрів корпусу змішувача L_φ , R_1 , R_2 , β , $\Delta\varphi$, f та технологічних параметрів \square , μ його роботи:

$$L_\varphi = \frac{g(\sin\beta + f \cos\beta)}{2} \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{\omega}\right)^2 + \frac{R_2 - R_1}{2} \Delta\varphi \cos\beta$$

З метою дослідження впливу основних конструктивних параметрів на величину необхідної довжини шнекової лопаті побудований графік її залежності від кута нахилу шнеку до горизонталі і кутової швидкості обертання вала (рис. 4) при розмірах шнекової лопаті $R_1=0,4$ м, $R_2=0,6$ м, коефіцієнті тертя суміші по лопаті $f=0,6$ і куті сходу суміші зі шнека 120°

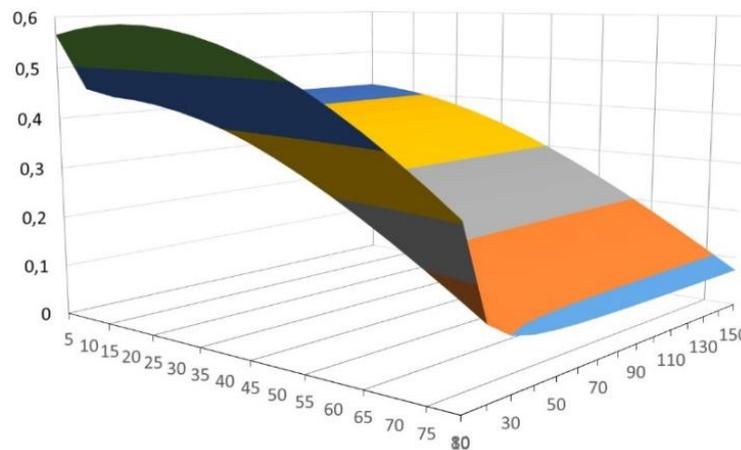


Рис. 4. Залежність довжини шнекової лопаті від кута нахилу шнеку і кутової швидкості обертання

Отже, зі збільшенням коефіцієнта тертя суміші по шнеку і одночасним збільшенням кута сходу суміші зі шнеку (через збільшення часу перебування матеріалу на ньому) необхідна довжина шнека збільшується майже в тричі. Слід зазначити, що радіальні геометричні розміри лопатей і шнека залишаються незмінними. При цьому, свого найбільшого значення довжина шнека набуває за кутової швидкості обертання 20 рад/с і куті сходження 20° .

Список літератури

1. Макаров Ю.И. Разработка, исследование и расчёт машин и аппаратов химических производств / Ю.И. Макаров, А.Г. Квак – М.: МИХМ, 1984. 187 с.
2. Ластовцев А.М. Исследование сопротивления при движении вращающейся лопасти в сыпучей среде. / А.М.Ластовцев, А.М.Хвальнов. // Исследования в области процессов и аппаратов химических производств: Труды МИХМ.- Т. 19.-М., 1959.-С. 125-140.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. –Л.: Химия, 1975. – 384 с.
4. Бродский Ю.А. Оборудование для производства сухих строительных смесей / Ю.А. Бродский, Б.Б. Чурилин // Строительные материалы. – 2000. – №5. – С 35-38.
5. Хавлица Дж. Влияние скорости вращения на гранулированный поток в вертикальном лопастном смесителе / Дж. Хавлица, М. Коноут, Т. Травникова // Powder Technology. – 2015. – №280 (8). – С. 180-190
6. McCarty J.J., Khakar, D.V., Ottino, J.M. Computational studies of granular mixing [Tidsskrift] // Powder Technology. - 2000. - Vol. 109. - ss. 58-71.
7. D. Nguyen, A. Rasmuson, I. N. Bjuørn, K. Thalberg. CFD simulation of transient particle mixing in a high shear mixer. Powder Technology, 2014, vol. 258, pp. 324-330

HIGH SPEED SHOVEL-SCREW MIXER FOR MIXING DRY BUILDING MIXTURES

Mykola Klymenko, Maksym Delembovskyi

Abstract. The paper presents an analysis of the design of modern high-speed forced-action mixers for the production of dry mixes. It is shown ways to eliminate the existing shortcomings of mixers of this class. Based on theoretical studies of the mixing process in the developed blade mixer with high-speed mode of operation, analytical dependences describing the process of its energy consumption. On the basis of the performed researches analytical expressions for definition of rational modes of operation of high-speed paddle mixers for receiving dry building mixes are received.

Keywords: dry mixes, screw high-speed mixer, modeling, mixing process, specific efficiency indicators, speed.

УДК 693.1

Дослідження гравітаційного вібраційного бетонозмішувача з динамічним балансуванням незрівноважених мас

Микола Клименко, Михайло Береговий

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. В роботі описаний процес змішування матеріалів та представлені різні схеми конструкції вібраційних бетонозмішувачів. Наведено метод розрахунку динамічного балансування незрівноважених мас, здійсненого шляхом встановлення двох противагів.

Ключові слова: амплітуда; вібрація; частота коливань; бетонозмішувач, противаги, балансування.

Одним із способів перемішування жорстких бетонних сумішей є вібрування. При вібруванні руйнуються структурні зв'язки суміші, і вона стає більш плинною. При цьому поліпшується також використання в'язучих властивостей цементу, оскільки при зіткненні частинок з них видаляються продукти гідратації і вступають в реакцію нові поверхні. Проте, деякими дослідженнями встановлено, що застосування вібрації для перемішування сумішей, що містять велику кількість води, суттєво не збільшує міцність бетону, тоді як енерговитрати при віброперемішуванні збільшуються у 1,5 – 2 рази [1, 2]. Таким чином, віброперемішування економічно вигідно застосовувати лише для приготування жорстких бетонних сумішей з дрібнозернистими заповнювачами. Для цих сумішей відзначається підвищення міцності бетону в ранньому віці (до 7 днів) на 25-30% і кінцевої міцності на 10-15% [3]. Вібрація може передаватися суміші через корпус змішувача, через лопати або вібробудником розміщеним у камері змішування (рис. 1).

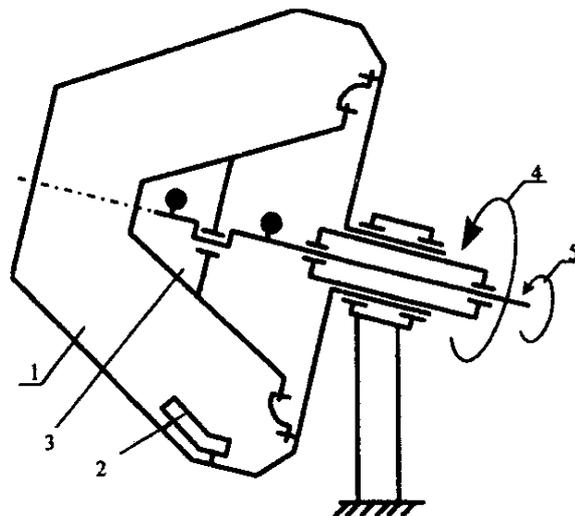


Рис. 1. Схема вібромішувача з вібробудником, розміщеним у камері змішування:
1 – барабан; 2 – змішувальний орган; 3 – вібробудник; 4 – привод барабана; 5 – привод вібробудника

Велике значення має правильно вибраний режим вібрування кожного складу суміші. Зважаючи на те, що суміш складається з зерен різної маси, певний ефект дає багаточастотне вібрування. Двочастотний віброзмішувач (рис. 2) являє собою барабан, встановлений на рамі за допомогою пружин. У корпусі проходить трубчастий вал, на якому укріплені лопаті. У середині порожнього валу обертається з великою швидкістю (314 рад/с) дебалансний вал, що збуджує коливання, які через лопаті передаються суміші. Крім того, на спеціальному стакані, прикріпленому до корпусу болтами, встановлений шків з дебалансом, що приводиться у обертання від швидкохідного вала редуктора приводу лопатей. Цей віброелемент має швидкість 150 рад/с. Таким чином, суміш отримує двочастотні коливання.

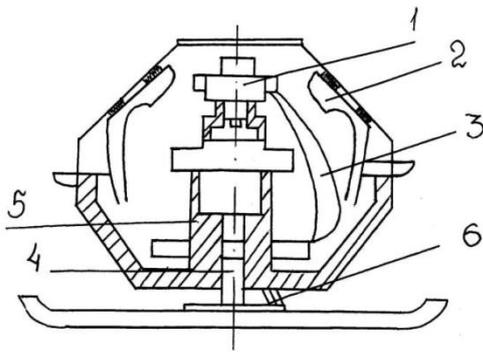


Рис. 2. Віброзмішувач

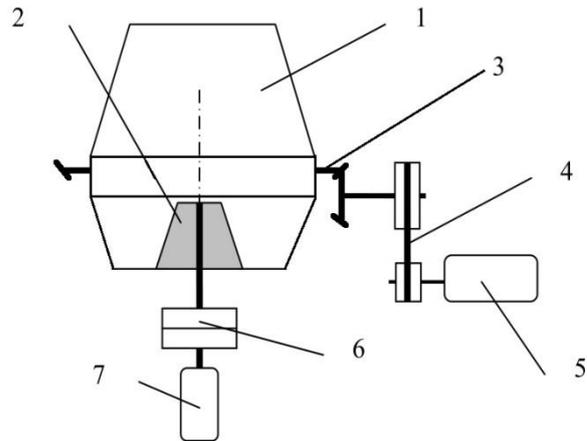


Рис. 3. Схема лабораторного вібраційного бетонозмішувача

Для дослідження впливу полічастотного вібраційного впливу на якість перемішування жорстких бетонних сумішей використана схема гравітаційного віброзмішувача, неведена на рис. 3.

Вібраційний бетонозмішувач складається з рами, на яку за допомогою підшипникових опор встановлена траверса з барабаном. Привод обертання барабана 1 складається з електродвигуна 5, зубчастої і пасової передачі 4, встановлених в кожусі, і відкритої конічної зубчастої передачі 3. Вздовж геометричної осі барабана розміщений віброзбуджувач з індивідуальним приводом обертання від електродвигуна за допомогою втулково-пальцевої муфти. Поворот із робочого стану в положення вивантаження здійснюється за допомогою рукоятки перекидного механізму.

Працює вібраційний бетонозмішувач наступним чином. Компоненти суміші завантажуються в барабан, встановлений в робоче положення, при якому його геометрична вісь складає з горизонтом 25...30 градусів. Включаються приводи обертання барабана, віброзбудника і проводиться процес перемішування до отримання однорідної сухої суміші. Потім додається вода і продовжується процес змішування. Залежно від складу змішуваних матеріалів час змішування становить 60...120с.

Частота обертання барабана визначається з умови впливу відцентрових сил, що притискають суміш до стінок барабана. Для наближених розрахунків можна використати наступну формулу:

$$\omega_0 = \frac{k}{\sqrt{D}} = \frac{2,5}{\sqrt{D}}.$$

де ω_0 - частота обертання барабана, рад/с; D – діаметр барабана, м; $k = 2...3$ – більші значення коефіцієнта приймаються для менших діаметрів.

Критична частота обертання барабана визначається відсутністю негативного впливу відцентрових сил, що притискають частинки компонентів, що змішуються до стінок барабана, що істотно впливає на процес змішування. Вона визначається з рівняння рівноваги частки, що знаходиться на поверхні лопаті:

$$mg \sin \alpha = mg \cos \alpha + m\omega^2 R.$$

Після перетворення маємо:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{R}}$$

При цьому має виконуватися умова $\omega_0 \leq \omega_{кр}$.

Консольний триопорний віброзбудник, представлений на рис. 4, складається з несучого приводного валу, корінних підшипників, корпусу в зборі, шатунного підшипника, противагів і муфти.

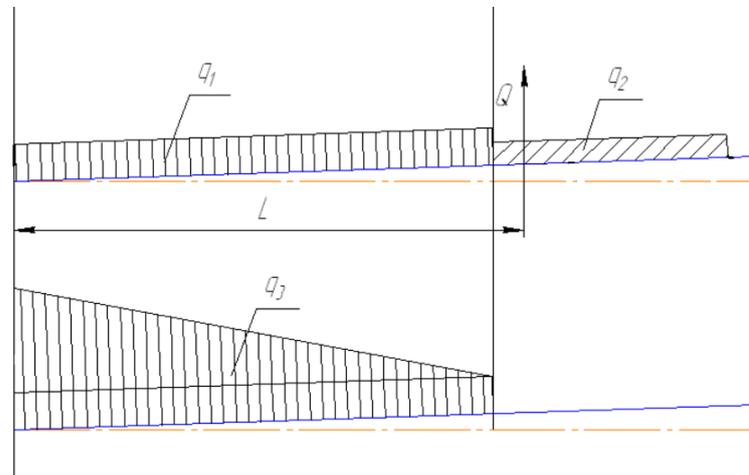


Рис. 4. Розрахункова схема розподілених та зосереджених навантажень триопорного віброзбудника

Отже, для розрахунку динамічного балансування віброзбудника необхідно визначити сумарне відцентрове навантаження Q і точку її прикладання (відстань L від точки O).

Список літератури

1. Серебренников А.А., Кузьмичев В.А. Основы конструирования и проектирования вибрационных смесителей, 2012.
2. Кузьмичев В.А. Основы проектирования вибрационного оборудования. Учебное пособие.- СПб: Издательство «Лань», 2014
3. Королев К.М., Аракелянц М.М. Вибрационные смесители для приготовления бетонных и растворных смесей
4. Бауман В.А. и др. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов.- М: Машиностроение, 1970.- 548с.
5. Серебренников А.А. и др. Методы проектирования и расчета виброшнекового смесителя //Строительные и дорожные машины. – М. - 1984. - № 5. - с. 29 – 31.
6. Серебренников А.А. Основы системного подхода к созданию смесительных машин повышенной интенсивности и эффективности // Строительные и дорожные машины. - М.: – 2000. – № 8. с. 18 – 20.
7. Кузьмичев В.А., Серебренников А.А. Исследования реологических свойств строительных смесей применительно к процессам вибросмешивания //Механизация строительства. – М.: - 1999. - № 2. – с. 10 – 12

INVESTIGATION OF GRAVITATIONAL VIBRATION CONCRETE MIXER WITH DYNAMIC BALANCING OF UNBALANCED MASSES

Mykola Klymenko, Myhailo Berehovi

Abstract. The paper describes the process of mixing materials and presents various design schemes of vibrating concrete mixers. The method of calculation of dynamic balancing of unbalanced masses carried out by establishing two counterweights is given.

Keywords: amplitude; vibration; oscillation frequency; concrete mixer, counterweights, balancing.

УДК 69.002.5

Огляд схем вібромайданчиків з вертикальними коливаннями та аналіз можливостей керування параметрами ущільнення

Олександр Дьяченко, Василь Пригоцький, Ігор Маліцький

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** У наш час зведення будівель із використанням різних як за розмірами так і за наповненням стін і перекриттів використовується дедалі частіше. Через це постає необхідність створення універсального і енергоощадного обладнання, яке б дозволяло реалізовувати необхідний режим ущільнення різних за щільністю будівельних сумішей і під ті елементи, які надходять на пост ущільнення. Перспективним напрямком підвищення енергоефективності і універсальності обладнання для об'ємного ущільнення будівельних сумішей є розробка таких конструкцій вібромайданчиків у процесі роботи яких можна було б у автоматичному режимі аналізувати параметри процесу ущільнення і витримувати режим коливань у заданому діапазоні. Для створення передумов розробки таких машин у першу чергу було оглянуто схеми вібромайданчиків з вертикальними коливаннями і сили, які діють на вібромайданчик у процесі ущільнення. Проаналізовані методи, якими можна чинити вплив на ці сили і тим самим виконувати регулювання параметрів коливань у процесі ущільнення.*

***Ключові слова:** вібраційна установка, параметри коливань, керування, ущільнення, змінний режим*

Все більш широкого застосування у наш час набувають ВІМ технології, які пронизують буквально кожен з етапів зведення будівель і споруд[1]. Починаючи від етапу постановки технічного завдання на проектування будівлі і завершуючи організацією виробництва конструкцій на заводах буд індустрії та будівельними роботами, які відбуваються безпосередньо на будівельному майданчику. Будь яка зміна у проекті накладає відбиток на всі послідовні діяльності і тому високий рівень оптимізації і синхронізації процесів проектування і будівництва є задачею актуальною. З врахуванням логістичних концепцій, згідно яких багатофункціональне обладнання, нехай і з меншою ефективністю і продуктивністю виконання технологічних процесів має перевагу над спеціалізованим обладнанням з точки зору гнучкості організації процесів зведення будівель, а також дозволяє швидко перелаштовувати таке обладнання відповідно до програм виробництва.

Поряд з цим будівлі загального користування та житлового фонду будують переважно з використанням монолітно-каркасного способу зведення, а технологія виготовлення збірних залізобетонних конструкцій здається втратила свою актуальність. Однак для неї відкривається нова віха у вигляді використання готових збірних одиниць у монолітній технології, різного роду перекриття, кабінки, що дозволяє пришвидшити темпи будівництва шляхом зменшення кількості бетонних робіт на будмайданчику[2]. При цьому витрати матеріалів, які використовуються для армування виробів при виробництві в заводських умовах набагато менші. Також дана технологія не втрачає свою актуальність при зведенні малоповерхових будівель як приватного так і не житлового використання.

Найбільш відповідальним процесом при виробництві збірних залізобетонних конструкцій є процес ущільнення бетонних сумішей, при якому відбувається найбільш рівномірне розподілення суміші по площі форми майбутнього виробу, витіснення повітря і зайвої рідини з суміші[3]. Саме від процесу ущільнення у більшій мірі залежить надання потрібної конфігурації і необхідної щільності суміші, що в готовому виробі має позначитись на міцності, водонепроникності, морозостійкості і забезпечити належну якість поверхонь.

З усіх способів ущільнення найбільшого розповсюдження на заводах будіндустрії отримав спосіб об'ємного вібраційного ущільнення бетонних сумішей [4]. При цьому способі виробництва виробу для ущільнення використовують вібраційні установки (майданчики) або вібраційні формовочні установки. Таке обладнання повинне забезпечувати високу продуктивність та якість продукції і має надавати можливість з швидкого переналагодження виробничих ліній у залежності від виробів, які будуть вироблятися.

Серед вібраційних установок з вертикальними коливаннями найбільшого поширення в промисловості будівельних матеріалів отримали установки, які побудовані за одномасовою або

двохмасовою схемами [5]. На рисунку 1 наведено розрахункові схеми одномасової та двухмасової вібраційних систем.

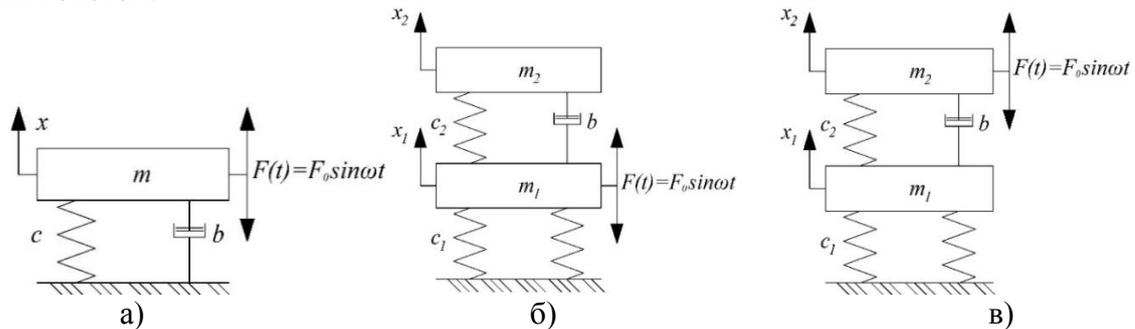


Рис.1. Схеми, за якими побудовані вібраційні майданчики з вертикальними коливаннями: а) одномасова; б) двухмасова з прикладенням змушуючої сили до нижньої маси; в) двухмасова з прикладенням змушуючої сили до верхньої маси.

У кожній з наведених схем є як свої переваги так і недоліки.

Вібромайданчики, які побудовані за одномасовою схемою є найбільш простими за конструкцією машинами, з високим ступенем надійності, які працюють у стійкому зарезонансному режимі, при відношенні частот змушуючих ω і вільних ω_0 коливань:

$$\omega/\omega_0 = 7...10. \quad (1)$$

При цьому забезпечується умова віброізоляції фундаменту і, як результат, персоналу від шкідливого впливу вібрації.

Серед недоліків варто відмітити те, що хоч робота у зарезонансному режимі коливань і є стійкою, але йде перевитрата енергії, яка витрачається на коливання.

Вирішенням цієї проблеми є використання резонансного режиму коливань, при якому частота коливань ω змушуючої сили наближається до власної частоти коливань ω_0 вібросистеми:

$$\omega/\omega_0 \approx 1. \quad (2)$$

Це у свою чергу приводить до зрівноження пружних і інерційних сил системи. Змушуюча сила врівноважується лиш силами опору, які порівняно з іншими силами у системи мають невисокі значення, через це для досягнення необхідної величини амплітуд коливань у резонансному режимі потрібна менша, ніж для роботи у зарезонансному режимі коливань змушуюча сила.

Однак на практиці резонансний режим коливань одномасових вібромайданчиків у промислових умовах не застосовується, через те, що для отримання високої частоти власних коливань вібромайданчика, яка визначається з залежності:

$$\omega_0 = \sqrt{c/m}, \quad (3)$$

необхідно при незмінній масі системи m використовувати більш жорсткі пружні опори, що у свою чергу приводить до майже повної передачі коливань на фундамент, де перебуває персонал, який обслуговує вібромайданчик.

Вібромайданчики, які у своїй основі мають двомасову схему(див.рис.1, б, в) дозволяють реалізовувати енергоефективний резонансний режим коливань при одночасному забезпеченні умов віброізоляції фундаменту і персоналу.

Однак серед недоліків варто відмітити те, що підтримувати стійкий резонансний режим руху упродовж процесу ущільнення бетонної суміші у формі важче ніж зарезонансний. Особливо це актуально у промислових умовах де відбувається ущільнення різних як за формою так і за наповненням бетонних сумішей у формах. Великий вплив на режим коливання віброустановки чинить також бетонна суміш, густина якої ρ упродовж процесу ущільнення змінює своє значення з 1500 до майже 2400 кг/м³, паралельно з чим кількість повітря у суміші з 30 падає до майже 3%. Тому необхідність створювати машини, параметри яких можна було б налаштовувати у процесі ущільнення, задля підтримання стійкого резонансного режиму коливань є задачею актуальною.

Для виокремлення характеристик, які впливають на параметри процесу ущільнення розглянемо рівняння вимушених коливань одномасової вібраційної системи, схему якої приведено на рис.1, а і описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_0 \sin(\omega t). \quad (4)$$

У нього входять наступні сили:

- сила пружності опор вібромайданчика, яка спрямована у протилежному руху напрямку:

$$F_c = -cx, \quad (5)$$

яка визначається добутком коефіцієнта пружності c і величини переміщення вібромайданчика x ;

- сила опору коливанням, яку створює конструкція вібромайданчика і бетонна суміш, що підлягає ущільненню і напрямлена протилежно швидкості руху:

$$F_b = -b\dot{x}, \quad (6)$$

яка є добутком коефіцієнта в'язкого опору b і швидкості переміщення вібромайданчика \dot{x} .

- сила, що змушує масу рухатися:

$$F(t) = F_0 \sin(\omega t), \quad (7)$$

вона є добутком величини змушуючої сили F_0 , яку генерують дебаланси при обертанні з частотою ω .

- сила інерції маси, яка рухається по синусоїдальному закону:

$$F_m = m\ddot{x}, \quad (8)$$

є добутком маси системи m «вібромайданчик-бетонна суміш» до прискорення \ddot{x} , яке виникає при зміні напрямку руху коливань.

Постійне значення упродовж процесу ущільнення суміші одного виробу має маса системи m , при цьому об'єм бетонної суміші зменшується пропорційно збільшенню її щільності, за рахунок витіснення повітря.

При виробництві ж виробів різних конфігурації і з різними за щільністю будівельними сумішами кожен наступний виріб, який надходить на пост ущільнення, може мати різну масу, що чинитиме вплив на параметри коливань вібромайданчика.

Зміна щільності і зменшення об'єму бетонної суміші впливає на коефіцієнт в'язкого опору b , унаслідок чого його значення відрізняється на різних етапах процесу ущільнення бетонної суміші. Для спрощення розрахунків, його значення приймають постійним упродовж усього процесу ущільнення. Однак для створення енергоефективних вібромашин, які б дозволяли ущільнювати різні за розмірами і складом бетонні суміші, залежність амплітуди коливань у залежності від зміни коефіцієнту в'язкого опору варто дослідити більш детально.

Коефіцієнт пружності опор c , які виконані зі сталених витих пружин або з гумових циліндрів величина постійна. Сила пружності пропорційно збільшується у залежності від величини переміщення на одному з кінців пружної опори, а тому регулювання їх жорсткості у процесі роботи обладнання неможливе. Інакше виглядає ситуація з пневматичними гумовими опорами. Зміна тиску у опорі дозволяє змінювати коефіцієнт пружності цієї опори.

Змушуюча сила яку створює віброзбудник коливань та частота коливань є величиною, яка підлягає регулюванню. Однак регулювання відрізняється у залежності від конструкції віброзбудника, який приводить систему у дію. У випадку використання інерційних відцентрових віброзбудників коливань, змушуюча сила напряму залежить від частоти обертання неврівноваженої маси $m_0 r_0$ і визначається за залежністю:

$$F_0 = m_0 r_0 \omega^2. \quad (9)$$

При використанні електромагнітних віброзбудників коливань однакова амплітуда переміщень може бути досягнута при різних частотах коливань.

У результаті виконаного огляду сил, які діють у одномасовій вібросистемі і аналізу методів впливу можна зробити наступні висновки:

- створення енергоощадних машин для ущільнення бетонних сумішей не може бути виконане без застосування регульованих пристроїв, датчиків, які будуть реєструвати параметри коливань і системи управління регульованими пристроями;
- регульованими пристроями є пружні пневмоопори, регульовані демпферів коливань і віброзбудники коливань, які б дозволяли регулювати частоту обертання.
- необхідно провести теоретичні дослідження впливу зміни щільності і об'єму бетонної суміші на коефіцієнт в'язкого опору b .
- створення машин з регульованими параметрами має дозволити налаштовувати вібромайданчик так, аби при ущільненні різних за формфактором і складом бетонної суміші виробів, амплітуда коливань лишалася у визначених межах на різних етапах ущільнення.

Список літератури

1. Albert Lester *Project Management, Planning and Control*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. 592.
2. Борейко В. І., Притула М.Ю. Перспективи виробництва будівельних матеріалів в Україні // Збірник наукових праць. Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції, 2011. Випуск XVII. №4. С. 64-71.
3. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навчальний посібник (2-е видання). – Київ: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
4. Назаренко І.І. Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских плит залізобетонних виробів / І.І. Назаренко, О.П. Дедов, О.С. Дьяченко, А.Т. Свідерський// Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип. 90, 2017. – С. 49-58.
5. Pințoi R., Barbu A.M., Ionescu A. *Vibrations influence on concrete compaction*. *Applied Mechanics and Materials*. 2020. Vol.896, P.355-360.

OVERVIEW OF SCHEMES OF VIBRATION INSTALLATIONS WITH VERTICAL OSCILLATIONS AND ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF CONTROL OF COMPACTION PROCESS PARAMETERS

Oleksandr Diachenko, Vasyl Pryhotskyi, Igor Malitskyi

Abstract. *Currently, the construction of buildings using different in size and filling of walls and floors is used more and more often. Due to this, there is a need to create universal and energy-saving equipment that would allow to implement the necessary mode of compaction of different density building mixtures and for those elements that come to the post of compaction. A promising direction to increase energy efficiency and versatility of equipment for bulk compaction of construction mixtures is the development of such structures which allows during the process would be possible to automatically analyze the parameters of the compaction and maintain fluctuations in a given range. To create the preconditions for the development of such machines, the schemes of vibration installations with vertical oscillations and the forces acting on it in the process of compaction were first examined. The methods by which these forces can be influenced and thus adjust the parameters of oscillations in the process of compaction are analyzed.*

Keywords: *vibration installation, parameters of oscillations, control, compaction, variable mode*

УДК 621

Обґрунтування та раціональний вибір параметрів вібраційного грохота для сортування будівельних матеріалів

Сергій Орищенко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Основними параметрами робочого процесу грохотів, що впливають на ефективність та продуктивність є динамічні параметри: амплітуда і частота коливань, швидкість переміщення частинок по грохоту, енергетичні затрати. Важливим параметром є також надійність та забезпечення стабільності режиму.

Ключові слова: частота; продуктивність; амплітуда; коливання; сортування матеріалу.

Представимо процес сортування як деякий упорядкований процес руху великої кількості різних часток в шарі на ситі.

Кожну частку із розміром d характеризує її крупність, яка не міняється в процесі руху, і є величиною, що може мати дискретну безліч значень: d_1, d_2, \dots, d_n . Оскільки кількість часток у шарі велика, то d можна надавати довільні значення в інтервалі заданого шару фракцій, і таким чином, вважати її величину безперервною (рис. 1).

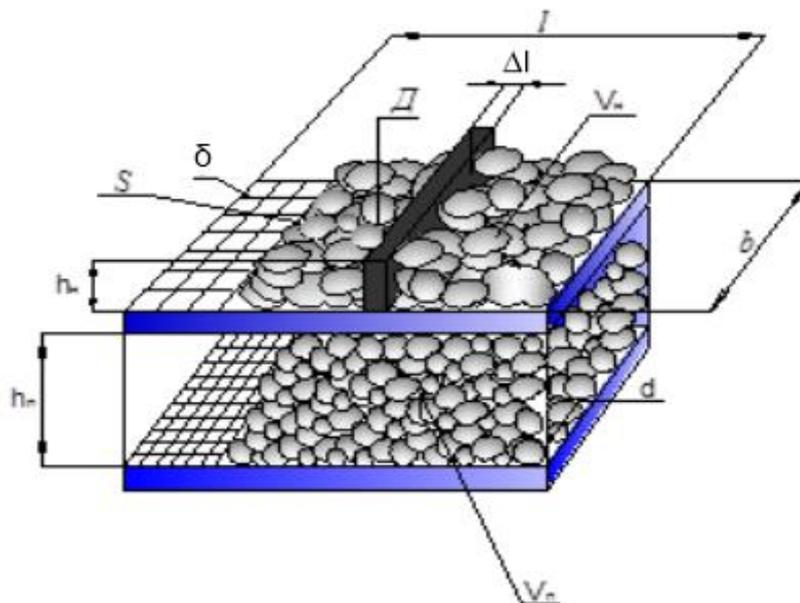


Рис.1. Схема розташування матеріалу на грохоті: l, b - довжина і ширина сита; h_n, h_p - висота надрешітного і підрешітного продукту; S - площа сита; Δl - ділянка сита; D, d - середній діаметр надрешітних і підрешітних продуктів; δ - товщина проволочок сита; V_n, V_p - об'єм надрешітного і підрешітного продукту

Виходячи із цього припущення систему часток можна замінити її безперервною моделлю, а продуктивність Π буде визначатися за формулою:

$$\Pi = V / t = bhv = bhl / t = sh / t, \quad (1)$$

де V – об'єм шару матеріалу на ситі, m^3 ; t - час транспортування матеріалу по сити, s ; b - ширина сита, m ; l - довжина сита, m ; S - площа сита, m^2 ; h – середня висота шару на ситі, m ; v - швидкість транспортування, m/s .

Об'єм можна представити як суму об'ємів надрешітного і підрешітного матеріалів:

$$V = V_n + V_p = S_n h_n + S_p h_p, \quad (2)$$

Якщо розділити сито по довжині на рівні ділянки Δl (див.рис.1) то

$$\Delta l = l / n = const, \quad (3)$$

де n - довільне число. Тоді об'єм V_p , розподілиться рівними порціями V_k по Δl :

$$V_k = \Delta l_k h_n b_n = const, \quad (4)$$

де k - номер відрізка Δl .

Розподілений таким чином по довжині l об'єм V_n утворює шар з вимірами паралелепіда, усереднюючи неоднорідність складових його зерен. Для продукту об'ємом V_n це означає, що всі чарунки сита, через які він отримується, для випадку щільного суміщення утворюється прямокутник, площа якого дорівнює S_n .

Використовуючі основні положення теорії вірогідності [1,4,7,9] процес розділення на фракції можна представити як вірогідність p проходження зерен d через комірки D :

$$p_i = (D - d_i)^2 / (D + \delta)^2, \quad (5)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, m$ - порядковий номер фракції, відлічуваної за характеристикою крупності підрешітного продукту в напрям зростання d ; d_i - середній розмір зерен i -ої фракції, що відповідає за характеристикою крупності половині її виходу; δ - товщина дроту сита.

Графік залежності вірогідності p проходження шароподібних зерен d крізь квадратні отвори D приведені на рис. 2. [2,3,5,8]:

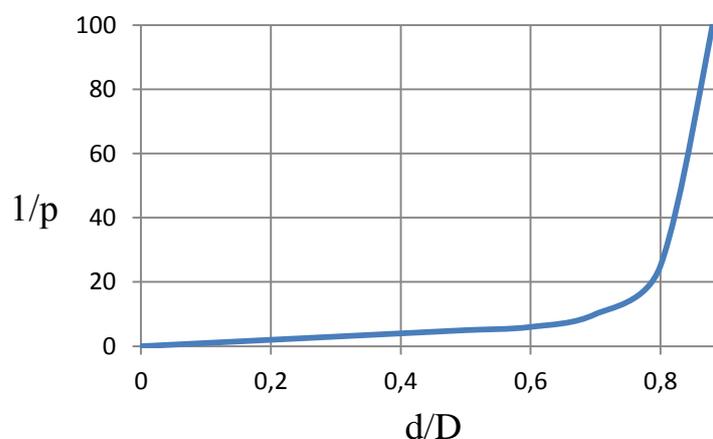


Рис. 2. Залежність вірогідності p від співвідношення d/D

Якщо вважати, що процес проходження зерен є максимальним по всій довжині сита ($\Delta l = l$), то об'єм підрешітного продукту:

$$\text{Згідно з (4)} \quad V_n = \Delta l \sum_{k=1}^n h_k b_k, \quad (6)$$

де h_k і b_k – середнє значення висоти і ширини шарів V_k , які залежать від вірогідності p .

Отже, зерновий склад кожної об'єму порції відрізняється від зернового складу аналогічних порцій підрешітного продукту, і являє собою велечину:

$$V_k = \sum_{i=1}^m V_{i,k}, \quad (7)$$

де $V_{i,k}$ – частина об'єму i -тої фракції V_i , сортованої на ділянці Δl_k .

За умови (4) висота i -го шару:

$$h_{i,k} = d_i p_{\min,k} / p_{zp}, \quad (8)$$

де $p_{\min,k}$ - ймовірність просіювання найбільших зерен, що належать до складу V_k .

Враховуючи, що існує вірогідність непроходження частин матеріалу $l_{i(n)}$ ($l - l_i = l_{i(n)}$) і умову, що $1/p_{\min,k} = l_k / \Delta l$ можна отримати вираз для об'єму проходження матеріалу який буде пропорційним залишкам на ситі:

$$V_{i,k} = V_k \left(V_i - \sum_{i=1}^k V_{i,k-1} \right) / \left(\sum_{i=1}^k (V_i - V_{i,k-1}) \right), \quad (9)$$

Вираз представляє собою залежність для визначення раціонального завантаження сита під час сортування на основі безперервної моделі, отриманої на ймовірності сортування зерен.

Для практичних розрахунків розглянута модель може бути замінена адекватною дискретною моделлю. З цією метою виразимо S_i з урахуванням S_H через площу, займану фракцією зерен, які за крупністю знаходяться біля D . Назвемо цю фракцію «важкою», тобто такою, що є граничною в загальному фракційному складі. Тоді будемо мати наступні співвідношення:

$$\begin{aligned} S_H &= S_B \Delta h_n \Delta C_n, \\ S_1 &= S_B \Delta h_1 \Delta C_1, \\ S_n &= S_B \Delta h_n \Delta C_n, \end{aligned} \quad (10)$$

де Δh -співвідношення висот h_B/h_n ; ΔC -співвідношення $C_H/C_{важ}$ в процентах від вихідного продукту ($C_{важ}$ -вихід «важких» зерен).

Із співвідношення можна визначити площу «важких» зерен:

$$S_e = (S_H + S_n) / (C_1 \Delta h_e + C_n \Delta h_n + C_e). \quad (11)$$

Використовуючі вірогідність проходження (2.9) і передбачаючи, що за кожного кидка шару V_B на сито по його ширині висівається "важких" зерен $n = b_{ув} / d_{зп}$ і по довжині сита $n = l / d_{зп}$, отримаємо об'єм граничних зерен, які сортується за один кидок шару на ситі:

$$V_e = (\pi d_{зп} b_e \cdot l) / 6. \quad (12)$$

Тоді продуктивність по сортуванні важких зерен становитиме:

$$\Pi_e = V_e / T = 0,08 d_{зп} \omega. \quad (13)$$

Відповідно загальна оптимальна продуктивність за живленням:

$$\Pi = 100 \Pi_e / C_e. \quad (14)$$

Із врахуванням (2.15) остаточно одержимо формулу для визначення продуктивності:

$$\Pi = (S_{жс} \omega [1 - d/D]^2) / [(C_{мін} \Delta h_{мін} + C_{сеп} \Delta h_{сеп} + C_{важ}) \cdot (1 - \lambda)], \quad (15)$$

де $S_{жс}$ -площа живого перетину сита; λ -пустотність матеріалу; $\Delta h_{мін} = h_{важ} / h_{мін}$; $\Delta h_{сеп} = h_{важ} / h_{сеп}$;

На основі вище проведених досліджень робимо наступні висновки.

Встановлена функціональна залежність між продуктивністю й кінематикою грохота під час сортування шляхом розгляду основних положень теорії проходження частинок відповідно до частоти коливань робочого органа.

Зауважено також пряму залежність між продуктивністю віброгрохота й площею живого перетину, причому за рівних значень площ живих перетинів круглих і квадратних гнізд сита, продуктивність за круглих отворів на більша, ніж за квадратних.

Збільшення граничного $d_{гр}$ зерна матеріалу, що просіюється, також рівнозначно знижує продуктивність віброгрохота, а за рівності граничного зерна розміру отвору сита ймовірність проходження матеріалу крізь сито й продуктивність віброгрохота знижується, що відповідає реальному процесу просівання матеріалу.

Список літератури

1. Blechman II *Vibrational movement* / II Blechman, G.Yu. Janelidze. -M.: Nauka, 1964. -410 p.
2. Gavrilchenko OV Gavrilchenko OV, Lanets OS, Shpak JSC // *Automation of production processes in machine building and instrument making: Ukrainian between resp. Science. - tech. coll.* - Lviv: Nat. Lviv Polytechnic University, 2005. - Issue 39. - P. 67-71.
3. Gusev BV *Vibration technology of concrete* / BV Gusev, VG Zazimko. - K.: Builder, 1991. - 160p.
4. Naduty VP, *Vibration screening of rock mass of high humidity* / VP Naduty, VV Kalinichenko, Dnepropetrovsk NSU Ukraine. 2004.-135p.
5. Nazarenko II *Machines for the production of building materials: a textbook* / II Nazarenko. - K.: KNUBA, 1999. – 488p.
6. Nazarenko II *Modeling of the process of material movement by screen* / I.I. Назаренко, С.В. Орышченко // *Construction Engineering*. - 2009. - №22. - P. 81-84.
7. Orishchenko SV *Research of vibrating screens with controlled parameters* / S.V. Oryshchenko // *Bulletin of Kremenchuk State University named after Mykhailo Ostrogradsky*. - 2011. - № 3. - P. 105–107.
8. Poturaev VN *Resonant screens* / VN Poturaev.-M.: Tsnieiugol, 1963.-94p

9. Weisberg L.A. Design and calculations of vibrating screens / L.A. Weisberg. -M.: Nedra, 1986. - 144 p.

JUSTIFICATION AND RATIONAL CHOICE OF VIBRATION SCREEN PARAMETERS FOR SORTING BUILDING MATERIALS

Sergey Oryshenko

Abstract. The main parameters of the working process of screens that affect the efficiency and productivity are dynamic parameters: amplitude and frequency of oscillations, the speed of movement of particles through the screen, energy costs. Reliability and stability of the regime are also important parameters.

Keywords: frequency; productivity; amplitude; fluctuation; material sorting.

УДК 693.1

Розробка валкової дробарки

Ахмед Абоуелсеуд, Євген Міщук, Дмитро Міщук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. В роботі розглянута конструкція вібраційної валкової дробарки. З врахуванням особливостей робочого процесу валкової дробарки з вібраційною дією на матеріал були виконані розрахунки сили дроблення. Наведено залежність по визначенню збурювального зусилля в залежності від границі міцності матеріалу на стиск. Наведені розрахунки по визначенню кута захвату валкової дробарки, який залежить від її геометричних параметрів. Виконані розрахунки продуктивності та потужності. Виконаний аналіз конструктивних особливостей вібраційної валкової дробарки.

Ключові слова: валкова дробарка; вібрація, продуктивність; зусилля дроблення; кут захвату.

Вступ. В промисловості будівельних матеріалів при дробленні в'язких і вологих матеріалів широкого розповсюдження набули валкові дробарки. Особливо на сьогодні дані машини набули широкого розповсюдження в сфері вторинної переробки будівельних та промислових матеріалів. Внаслідок широкого застосування валкових дробарок постає питання підвищення продуктивності та зменшення енергозатрат. В цілому фактори які впливають на вище зазначені параметри можна розділити на дві категорії: 1) оптимізація робочого процесу; 2) вдосконалення конструкції.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми.

В роботі [1] досліджуються раціональні параметри вібраційного дробильного обладнання з метою підвищення енергоефективності робочого процесу. До недоліків слід віднести те що дослідження проводились у вузькому діапазоні низьких частот коливань робочих органів дробильної машини.

Вирішення проблеми зниження енергозатрат та підвищення ефективності руйнування гірських порід в роботі [2] пропонується за рахунок зміни профілю гладких циліндричних валків на хвилеподібний профіль. Внаслідок зміни профілю валків змінюється схема навантаження на матеріал. Основним недоліком такої конструкції дробарки є підвищений знос робочих поверхонь [2]. Хоча хвилеподібний профіль валків має більший термін експлуатації у відносному порівнянні із зубчастими валками. Позитивним ефектом від хвилеподібних валків є підвищення куту захвату матеріалу.

В роботі [3] представлені дослідження гранулометричного складу продукту дроблення валковими дробарками високого тиску. Експериментальні дані показують високу продуктивність даного виду валкових дробарок. Хоча валкові дробарки високого тиску набувають широкого застосування і починають витісняти стрижневі та кульові млини [4]. Проте межі їх застосування досі залишаються відносно вузькими. Тобто дані машини характеризуються великою металомісткістю та відносно значними енергозатратами. Цей вид валкових дробарок повністю себе виправдовує в сфері збагачення та помелу матеріалів [5].

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування впливу основних параметрів валкової дробарки на енергоефективність робочого процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Одним із напрямків підвищення енергоефективності дробильних машин є оптимізація робочого процесу за рахунок правильного вибору параметрів механічного режиму та поєднання конструкцій вузлів різних типів машин, які можуть покращити значення необхідних параметрів. Схематично вібраційна валкова дробарка зображена на рис. 1.

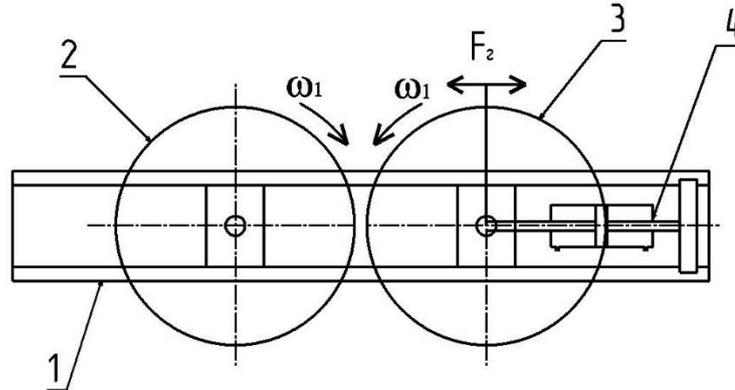


Рис. 1. Схема Валкової дробарки

1 – рама; 2- валок з приводом від електродвигуна; 3 – рухомий валок; 4 – гідравлічна демпфуюча пружня система.

Вібраційна валкова дробарка працює наступним чином. Валок 2 приводиться в дію від електродвигуна і починає обертатися із кутовою швидкістю ω_1 , в цей час валок 3, який має привід від гідродвигуна, починає обертатися зі швидкістю ω_1 , проте в протилежному напрямку до валка 2. Паралельно з початком обертання валка 3, вмикається другий гідродвигун, який приводить в дію гідроциліндр, внаслідок чого валок 3 здійснює коливання в горизонтальному напрямку. Режим коливань валка 3 задається таким чином, щоб не виникало зіткнень валків при відсутності матеріалу між ними.

Залежність для визначення зусилля, яке повинні створювати гідроциліндри можна визначити за наступною залежністю:

$$F_p = \sigma_{ст} \times S \times \mu, \quad (1)$$

де $S = L \times l_d$ – площа на яку діє зусилля при дробленні матеріалу; L – довжина валка, м; l_d – довжина дуги на ділянці дроблення матеріалу, м; $l_d = R\alpha = Da/2$ (R – радіус валка, м; α – кут дуги, рад.); $\sigma_{ст}$ – границя міцності на стиск; μ – коефіцієнт розпушення (для міцних порід $\mu = 0,2-0,3$, для глини $\mu = 0,4-0,6$).

Кут дуги α при дробленні міцних порід можна приймати як $\alpha = 16$ град. При дробленні глини $\alpha = 24$ град. По суті кут α є кутом захвату. Для валкових дробарок кут захвату можна визначити на основі наступної залежності:

$$\cos(\alpha) = \frac{(R + e/2)}{(R + d/2)}, \quad (2)$$

де R – радіус валка дробарки; d – діаметр матеріалу, який руйнується; e – відстань між валками;

Продуктивність валкових дробарок визначається за наступною залежністю:

$$Q = \pi \times D \times L \times e \times n, \quad (3)$$

де L – довжина валка, м; e – ширина вихідної щілини, м; D – діаметр валка, м; n – кількість обертів валка за с.

Слід враховувати, що ширина вихідного отвору валкової дробарки з вібраційною дією на матеріал буде змінюватись. Тому в залежність для продуктивності слід ввести значення ходу валка b . Для звичайних валкових дробарок це значення приймають рівним $b = 0,25 * e$. Так наприклад при ширині вихідного отвору дробарки в 10 мм, хід валка складатиме 4 мм. За даними дослідження, що наведено в джерелі [6], хід робочого органу з вібраційним приводом в 3-5 мм є достатнім для

руйнування гірських порід. Звісно слід обмежувати амплітуду коливань при більших значеннях вихідного отвору дробарки.

Таким чином формула продуктивності набуде наступного виду:

$$Q = \pi \times D \times L \times (e + b) \times n \times \mu \times \rho, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт розпушення; ρ – щільність матеріалу, т/м^3 .

Необхідна потужність електродвигуна валкової дробарки визначається наступною залежністю:

$$N_{\text{дв}} = (N_1 + N_2) / \eta, \quad (5)$$

де N_1 – потужність, яка витрачається на дроблення матеріалу; N_2 – потужність, яка витрачається на подолання сил тертя в підшипниках; η – ККК передачі.

Висновок. Запропонована конструкція валкової дробарки є перспективним напрямком розвитку дробильної техніки. Основними перевагами валкової дробарки є: 1) підвищений степінь дроблення матеріалів та можливість перероблювати більш міцні гірські породи; 2) знижений ризик забивання простору між валками недробимим матеріалом та суттєве зниження налипання матеріалу на валки; 3) відсутність потреби встановлювати після валкової дробарки в технологічній схемі переробки матеріалів роторну дробарку. В даному випадку роторна дробарка розбиває пласти матеріалу сплюснутих після валкової дробарки; 4) підвищена продуктивність. До недоліків слід віднести потреби використання більш масивного фундаменту, складність конструкції.

Список літератури

1. Nazarenko, Ivan and Mishchuk, Yevhen and Mishchuk, Dmitry and Ruchynskiy, Mykola and Rogovskii, Ivan and Mikhailova, Liudmyla and Titova, Liudmyla and Berezovyi, Mykola and Shatrov, Ruslan, Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher (August 31, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 41–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
2. Kangkang Sun, Ruoding Ma, Guang Li, Da Cui, Yanpeng Lu (2018). The influence of the structure of double toothed roller crusher on the crushing effect based on EDEM. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 423 (2018) 012152 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/423/1/012152>
3. Anticoi, H.; Guasch, E.; Ahmad Hamid, S.; Oliva, J.; Alfonso, P.; Bascompta, M.; Sanmiquel, L.; Escobet, T.; Escobet, A.; Parcerisa, D.; Peña-Pitarch, E.; Argelaguet, R.; De Felipe, J.J. An Improved High-Pressure Roll Crusher Model for Tungsten and Tantalum Ores. *Minerals* 2018, 8, 483. <https://doi.org/10.3390/min8110483>.
4. Brochure. Валковые прессы HPGR измельчение под высоким давлением. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://9k.gg/isLzL>.
5. Ashok Gupta, Denis Yan (2016), *Mineral Processing Design and Operations (Second Edition)*. Chapter 6 - Roll Crushers, Elsevier, Pages 169-188. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63589-1.00006-X>.
6. Goncharevich I.F., Dokukin A.B. (1975) *Dynamics of mining machines with elastic ties*. - Nauka Publishing House. – p. 212.

Development of a roll crusher

Ahmed Abouelseoud , Yevhen Mishchuk, Dmytro Mishchuk

Abstract. The design of the vibrating roll crusher is considered in the work. Taking into account the peculiarities of the working process of the roll crusher with vibration action on the material, calculations of the crushing force were performed. The dependence on the determination of the perturbing force depending on the compressive strength of the material is given. Calculations for determining the angle of capture of the roll crusher, which depends on its geometric parameters. Performance and capacity calculations are performed. The analysis of design features of the vibrating roll crusher is executed.

Keywords: roller crusher; vibration, productivity; crushing efforts; grip angle.

УДК 543.8 + 541.13

Аналіз впливу пакету присадок на реологічні властивості в'язких рідин при вивченні кавітаційних явищ

Владислав Кривошеєв, Ігор Ночніченко, Олег Яхно, Олексій Коваль

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

Анотація. При вивченні кавітаційних явищ, які відбуваються в гідродинамічних кавітаторах, одним із ключових факторів є робоча рідина. В роботі було проведено лабораторний аналіз робочих рідин високої в'язкості, як ньютонівських так і неньютонівських, які використовуються в експериментальних стендах та є широко розповсюдженими. Також було досліджено вплив додаткового пакету присадок. Було проведено структурно-морфологічний аналіз робочих рідин на роторному віскозиметрі РЕОТЕСТ-2. Побудовано графіки залежностей частоти обертання роторного валу від напруги зсуву. Розраховано значення коефіцієнту динамічної в'язкості досліджуваних робочих рідин. За результатом реологічного дослідження робочих рідин та впливу пакету присадок на них, обрано робочі рідини найбільш сприятливі для проведення подальших досліджень кавітаційних явищ.

Ключові слова: гідродинамічний кавітатор; гідродинамічна кавітація; гідролюмінесценція; робоча рідина, динамічна в'язкість, роторний віскозиметр; частота обертання; напруга зсуву.

В елементах і пристроях сучасних гідросистем робочий тиск може досягати 400 бар [1, 2]. У діафрагмі і різних дроселях потік робочої рідини має яскраво виражений турбулентний характер. У вузькому перетині висока швидкість рідини спричинює кавітацію і пов'язане з цим активне виділення бульбашок нерозчиненого повітря і пара [2-5]. При розвиненій гідродинамічній кавітації, за певних умов, можна спостерігати ще одне явище – гідролюмінесценцію рис.1.

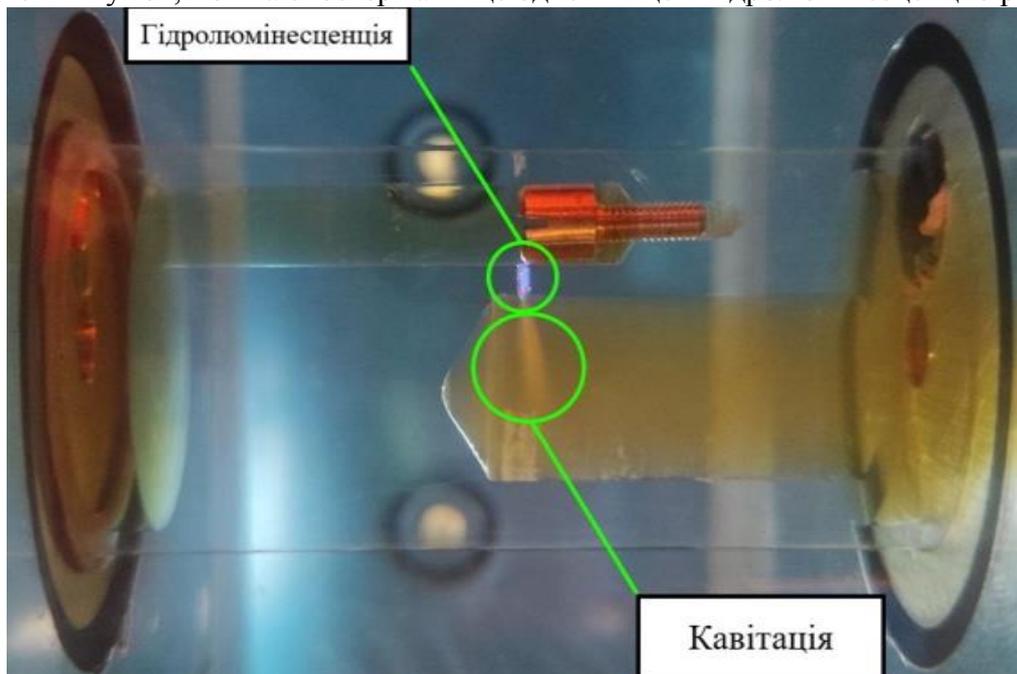


Рис. 1. Явище гідролюмінесценції у потоці мінерального масла при розвиненій кавітації

Гідролюмінесценція - це випромінювання світла рідиною в вузькому каналі. Можна сказати, що гідролюмінесценція викликана тертям, таким чином, це також особливий випадок механічної люмінесценції, тобто гідролюмінесценція – це триболюмінесценція рідини. Ефект гідролюмінесценції вперше був виявлений Константиновим в 1947 році [6]. При плоскому обтіканні водою твердого тіла (круглих циліндрів) в плоскому каналі спостерігалось свічення позаду циліндрів, при сильно розвиненій гідродинамічній кавітації.

Механізм виникнення люмінесценції в потоці рідини при гідродинамічній кавітації, є досить складним, особливо важливе розуміння процесів, що відбуваються для багатокомпонентних середовищ, до яких відноситься нафта і отримані з неї нафтопродукти (гідролічні масла) [7,8].

При проведенні досліджень на експериментальних стендах з різними видами робочих рідин, вдалося створити умови для розвиненої кавітації та отримати явище гідролюмінесценції, але за відмінних параметрів світловипромінювання або його відсутності [11-13]. Внаслідок чого, було вирішено провести поглиблений аналіз робочих рідин та вплив додаткового пакету присадок на них.

Дослідження проводились як для ньютонівських рідин (Леол М20, І-20), так і для неньютонівських (ARAL 0W-40, ТЕП-15 «Нігрол»). Було зроблено забір зразків даних видів робочих рідин і окремо в кожен з них було додано пакет присадок MANNOL Molibden Additive у співвідношенні 1:10. Подальший структурно-морфологічний аналіз робочих рідин виконувався на роторному віскозиметрі РЕОТЕСТ-2. Реологічні властивості рідин вивчають за реологічними кривими течії (основної та додаткової), одержуваних на ротаційних віскозиметрах [9]. Прилад РЕОТЕСТ-2 є ротаційним віскозиметром з внутрішнім обертовим циліндром і призначений для дослідження реологічних властивостей ньютонівських рідин з високою в'язкістю, а також структурованих дисперсних систем рис. 2 [10].



Рис. 2. Ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ-2

Віскозиметр відтарований за показниками наведеними у таблиці 1

Таблиця 1

Відтаровані показники роторного віскозиметра РЕОТЕСТ-2

Частота мережі, ν , Hz	50	
Жорсткість пружини z_1	3,33	0,1 Па/под.
Жорсткість пружини z_2	33,7	0,1 Па/под.

Дослідження проводились при сталій температурі робочої рідини 15,7 °С

Розрахунок напруги зсуву для при z_n за формулою 1

$$\tau = \frac{\gamma^* z_n}{10}, \quad (1)$$

Розрахунок коефіцієнту динамічної в'язкості за формулою 2

$$\mu = \frac{\tau * 50}{\gamma * \nu}, \quad (2)$$

Результати вимірювання робочої рідини Леол М20 та Леол М20 (М) наведено у таблиці 2

Таблиця 2

Результати вимірювання Леол М20 та Леол М20 (М)

Леол М20	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с	Леол М20(М)	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с
1	4a-I	16,2	2,6	0,87	0,053	1	4a-I	16,2	3,0	1,00	0,062
2	6b-I	24,3	3,8	1,27	0,052	2	6b-I	24,3	4,5	1,50	0,062
3	5a-I	27,0	4,3	1,43	0,053	3	5a-I	27,0	5,1	1,70	0,063
4	7b-I	40,5	6,5	2,16	0,053	4	7b-I	40,5	7,8	2,60	0,064
5	6a-I	48,6	7,7	2,56	0,053	5	6a-I	48,6	9,5	3,16	0,065
6	8b-I	72,9	11,5	3,83	0,053	6	8b-I	72,9	14,0	4,66	0,064
7	7a-I	81,0	12,8	4,26	0,053	7	7a-I	81,0	15,3	5,09	0,063
8	9b-I	121,5	19	6,33	0,052	8	9b-I	121,5	23	7,66	0,063
9	8a-I	145,8	23	7,66	0,053	9	8a-I	145,8	27,3	9,09	0,062
10	10b-I	218,7	34	11,32	0,052	10	10b-I	218,7	40	13,32	0,061
11	9a-I	243,0	38	12,65	0,052	11	9a-I	243,0	44,5	14,82	0,061
12	11b-I	364,5	57	18,98	0,052	12	11b-I	364,5	66,5	22,14	0,061
13	10a-I	437,4	68,5	22,81	0,052	13	10a-II	437,4	8	26,96	0,062
14	12bd-II	656,0	10,3	34,71	0,053	14	12bd-II	656,0	11,8	39,77	0,061
15	11ad-II	729,0	11,3	38,08	0,052	15	11ad-II	729,0	13,2	44,48	0,061
16	12ad-II	1312,0	20,3	68,41	0,052	16	12ad-II	1312,0	23,5	79,20	0,060

Результати вимірювання робочої рідини I-20 та I-20 (М) наведено у таблиці 3

Таблиця 3

Результати вимірювання I-20 та I-20 (М)

I-20	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с	I-20 (М)	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с
1	4a-I	16,2	2,7	0,90	0,056	1	4a-I	16,2	3,0	1,00	0,062
2	6b-I	24,3	4,8	1,60	0,066	2	6b-I	24,3	4,5	1,50	0,062
3	5a-I	27,0	5,0	1,67	0,062	3	5a-I	27,0	5,0	1,67	0,062
4	7b-I	40,5	7,0	2,33	0,058	4	7b-I	40,5	8,0	2,66	0,066
5	6a-I	48,6	8,5	2,83	0,058	5	6a-I	48,6	9,5	3,16	0,065
6	8b-I	72,9	12,8	4,26	0,058	6	8b-I	72,9	14,5	4,83	0,066
7	7a-I	81,0	14	4,66	0,058	7	7a-I	81,0	16	5,33	0,066
8	9b-I	121,5	21	6,99	0,058	8	9b-I	121,5	23	7,66	0,063
9	8a-I	145,8	25,5	8,49	0,058	9	8a-I	145,8	27	8,99	0,062
10	10b-I	218,7	37,5	12,49	0,057	10	10b-I	218,7	40	13,32	0,061
11	9a-I	243,0	41,5	13,82	0,057	11	9a-I	243,0	44,5	14,82	0,061
12	11b-I	364,5	62,5	20,81	0,057	12	11b-I	364,5	66,5	22,14	0,061
13	10a-II	437,4	75	24,98	0,057	13	10a-II	437,4	7,5	25,28	0,058
14	12bd-II	656,0	11	37,07	0,057	14	12bd-II	656,0	11,5	38,76	0,059
15	11ad-II	729,0	12,5	42,13	0,058	15	11ad-II	729,0	13	43,81	0,060
16	12ad-II	1312,0	22	74,14	0,057	16	12ad-II	1312,0	22,5	75,83	0,058

Результати вимірювання робочої рідини ARAL OW-40 та ARAL OW-40 (М) наведено у таблиці 4

Таблиця 4

Результати вимірювання ARAL 0W-40 та ARAL 0W-40 (M)

0W-40	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с	0W-40 (M)	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с
1	4a-I	16,2	8,5	2,83	0,175	1	4a-I	16,2	8,5	2,83	0,175
2	6b-I	24,3	12,8	4,26	0,175	2	6b-I	24,3	12,8	4,26	0,175
3	5a-I	27,0	14,0	4,66	0,173	3	5a-I	27,0	14,3	4,76	0,176
4	7b-I	40,5	21,0	6,99	0,173	4	7b-I	40,5	21,0	6,99	0,173
5	6a-I	48,6	25,0	8,33	0,171	5	6a-I	48,6	25,0	8,33	0,171
6	8b-I	72,9	38,0	12,65	0,174	6	8b-I	72,9	38,0	12,65	0,174
7	7a-I	81,0	42	13,99	0,173	7	7a-I	81,0	42	13,99	0,173
8	9b-I	121,5	64	21,31	0,175	8	9b-I	121,5	64	21,31	0,175
9	8a-II	145,8	7,4	24,94	0,171	9	8a-I	145,8	76,8	25,57	0,175
10	10b-II	218,7	11	37,07	0,170	10	10b-II	218,7	11,3	38,08	0,174
11	9a-II	243,0	12,3	41,45	0,171	11	9a-II	243,0	12,5	42,13	0,173
12	11b-II	364,5	18,5	62,35	0,171	12	11b-II	364,5	18,5	62,35	0,171
13	10a-II	437,4	22	74,14	0,170	13	10a-II	437,4	22,5	75,83	0,173
14	12bd-II	656,0	33	111,21	0,170	14	12bd-II	656,0	33,5	112,90	0,172
15	11ad-II	729,0	37	124,69	0,171	15	11ad-II	729,0	37	124,69	0,171
16	12ad-II	1312,0	67	225,79	0,172	16	12ad-II	1312,0	67,5	227,48	0,173

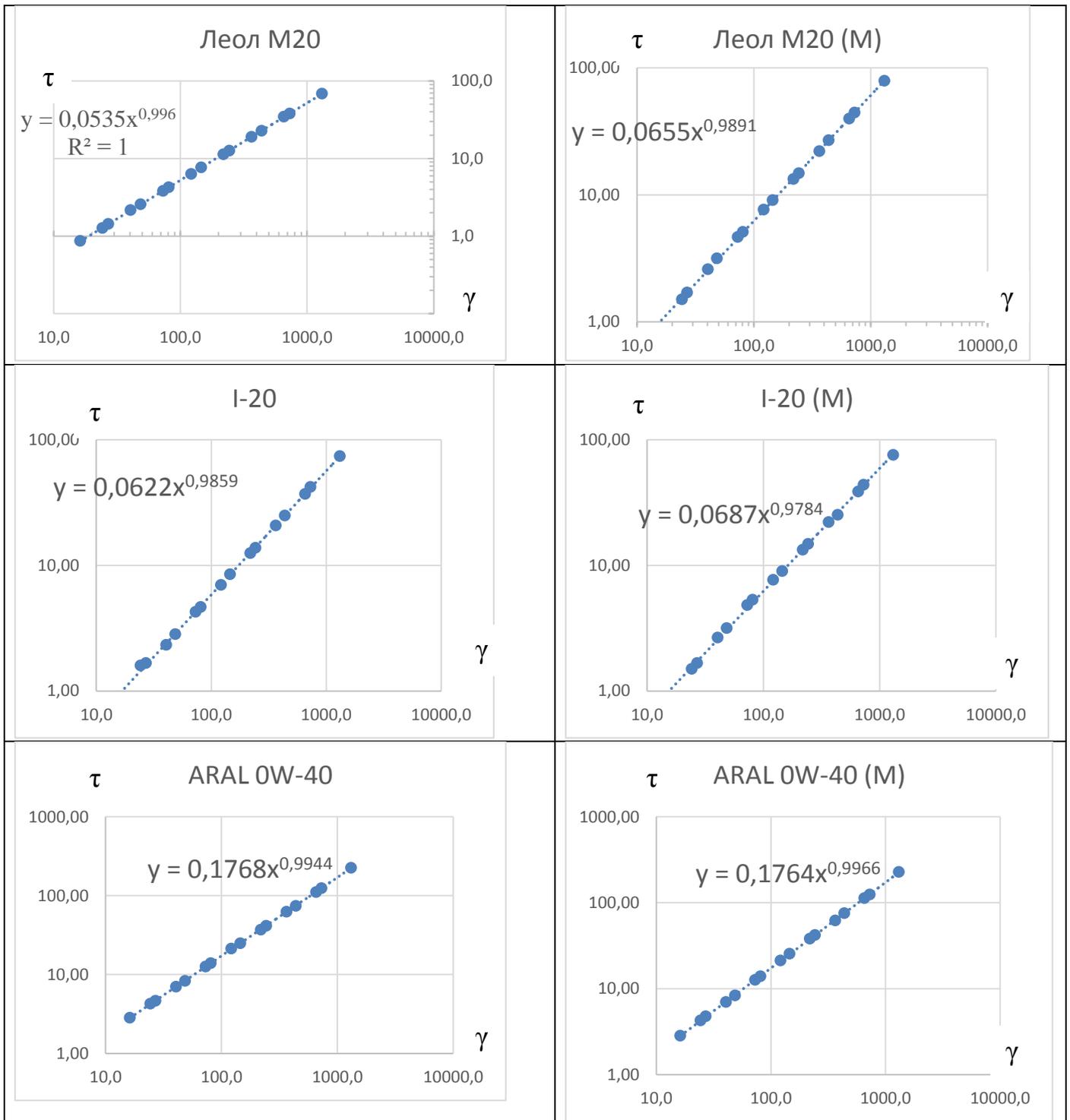
Результати вимірювання робочої рідини ТЕП-15 та ТЕП-15 (M) наведено у таблиці 5

Таблиця 5

Результати вимірювання ТЕП-15 та ТЕП-15 (M)

ТЕП-15	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с	ТЕП-15 (M)	Поз.	γ , 1/с	α	τ , Па	μ , Па с
1	4a-I	16,2	7,0	2,33	0,144	1	4a-I	16,2	10,0	3,33	0,206
2	6b-I	24,3	10,0	3,33	0,137	2	6b-I	24,3	15,0	5,00	0,206
3	5a-I	27,0	11,0	3,66	0,136	3	5a-I	27,0	16,0	5,33	0,197
4	7b-I	40,5	16,0	5,33	0,132	4	7b-I	40,5	23,0	7,66	0,189
5	6a-I	48,6	19,0	6,33	0,130	5	6a-I	48,6	28,0	9,32	0,192
6	8b-I	72,9	30,0	9,99	0,137	6	8b-I	72,9	42,0	13,99	0,192
7	7a-I	81,0	32	10,66	0,132	7	7a-I	81,0	48	15,98	0,197
8	9b-I	121,5	48	15,98	0,132	8	9b-I	121,5	73	24,31	0,200
9	8a-I	145,8	58	19,31	0,132	9	8a-I	145,8	89	29,64	0,203
10	10b-II	218,7	90	303,30	1,387	10	10b-II	218,7	12	40,44	0,185
11	9a-II	243,0	10	33,70	0,139	11	9a-II	243,0	14	47,18	0,194
12	11b-II	364,5	14	47,18	0,129	12	11b-II	364,5	21	70,77	0,194
13	10a-II	437,4	17	57,29	0,131	13	10a-II	437,4	25	84,25	0,193
14	12bd-II	656,0	25	84,25	0,128	14	12bd-II	656,0	37	124,69	0,190
15	11ad-II	729,0	28	94,36	0,129	15	11ad-II	729,0	42	141,54	0,194
16	12ad-II	1312	50	168,5	0,128	16	12ad-II	1312,0	75	252,75	0,193

За отриманими результатами побудовані залежності частоти обертання роторного валу від напруги зсуву рис.3.



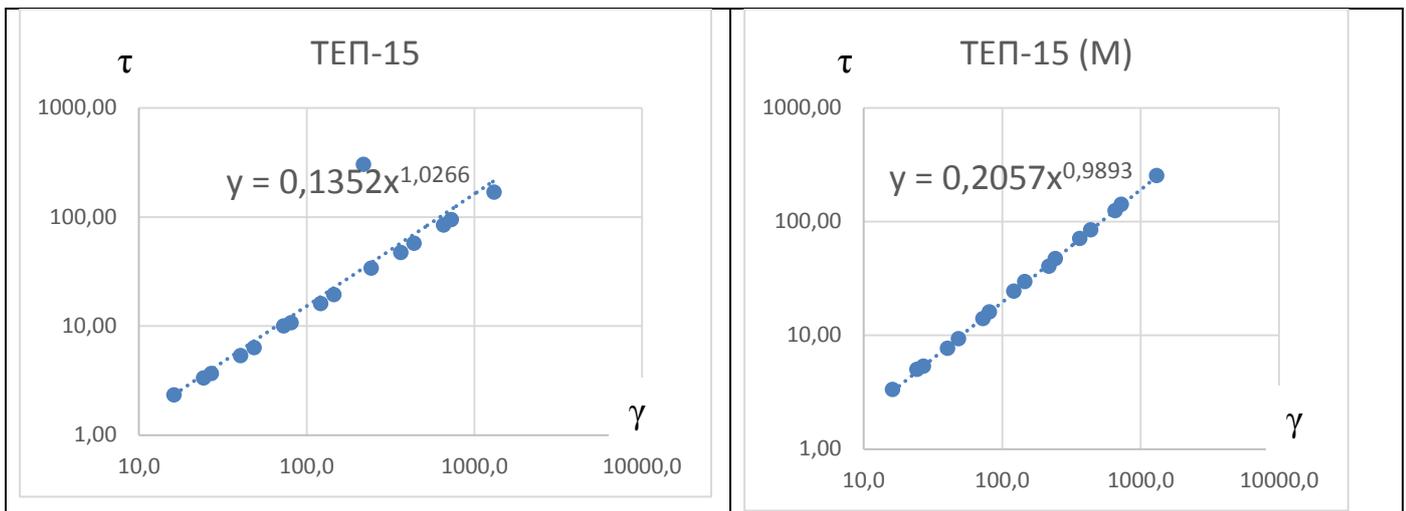


Рис. 3. Залежності частоти обертання роторного валу від напруги зсуву для різних типів рідин

Згідно отриманих результатів реологічних досліджень помітно, що пакет присадок MANNOL Molibden Additive впливає на реологічні властивості робочих рідин. Для робочих рідин мінерального походження (Леол М20, І-20, ТЕП-15) додавання присадок обернулося збільшенням напруги зсуву, а отже і підвищенням коефіцієнту динамічної в'язкості. Наприклад, для робочої рідини ТЕП-15 приріст склав $\approx 51\%$. Виключенням є робоча рідина ARAL 0W-40, оскільки дане масло є синтетичним і додавання присадки майже не відчутне.

В подальшому планується встановити ступінь впливу присадок та реологічних властивостей на явище гідролюмінесценції. Попередні дослідження показали значний вплив фізико-хімічних процесів, пульсацій потоку на режим виникнення гідролюмінесценції.

Список літератури

1. Frenkel, Y. I., "Electrical phenomena connected with cavitation caused by ultrasonic oscillations in a liquid" *Russ. J. Phys. Chem.* 14 (1940): pp 305–308.
2. V. N. Pilgunov. D. Efremova. *Light Emission and Electrical Processes in a Cavitating Mineral Oil Stream* # 03, 2013. 31-62 DOI: 10.7463 / 0313.0535547.
3. Youtube (Elon Musk) – Mars 2020-time 33.04 URL: <https://www.youtube.com/watch?v=gqe9RI1NH4A&t=1990s> (date 12.12.2018).
4. Farhat M, Chakravarty A, Field J E., *Luminescence from hydrodynamic cavitation. Proc R Soc A*, 2011, 467: 591–606. doi: 10.1098/rspa.2010.0134.
5. Leighton, T. G., Farhat, M., Field, J. E. & Avellan, F. 2003 *Cavitation luminescence from flow over a hydrofoil in a cavitation tunnel. J. Fluid Mech.* 480, 43–60. (doi:10.1017/S0022112003003732).
6. Константинов В.А. ДАН СССР. 1947. Т. 56. № 3. С. 259–260.
7. Герценштейн С.Я., Монахов А.А. Электризация и свечение жидкости в коаксиальном канале с диэлектрическими стенками. *Изв. РАН. Механика жидкости и газа*. 2009. № 3. С.114-119.
8. Колдомасов А.И. Плазменное образование в кавитирующей диэлектрической жидкости. *Журнал технической физики*. 1991. Т. 61, № 2. С. 188-190.
9. Щукин Е. Д. Физико-химическая теория прочности дисперсных структур и материалов // *Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Под ред. Щукина Е. Д. и др. — М.: Изд-во МГУ. 1985. 72–90 с.*
10. Сайлаубекулы, Рустем. Методы изучения реологических свойств почв / *Рустем Сайлаубекулы. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 8 (112). — С. 291-294.*
11. Nochnichenko I.V., Luhovskyi O.F., Kostiuk D.V. (2019) *Study of hydrodynamic luminescence in a cavitation liquid medium // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Problemy tertia ta znoshuvannia» # 3(84). – S.57-62 doi:10.18372/0370-2197.3(84).13853.(Index Copernicus - ISSN: 0370-2197).*
12. I. Nochnichenko, O. Luhovskyi, D. Kostiuk, O. Jakhno *Research of the Influence of Hydraulic Orifice Material on the Hydrodynamic Cavitation Processes Accompanied by Luminescence, International Scientific-Technical Conference on Hydraulic and Pneumatic Drives and Control, 2020, Springer Cham, pp. 293-300.*
13. Ihor V. Nochnichenko; Alexandr F. Luhovskyi; Oleg M. Jakhno; Dmytro V. Kostiuk; Pawel Komada; Ainur Kozbakova (2019) *Experimental research of hydroluminescence in the cavitating flow of mineral oil, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, Vol. 1117615 (6 November 2019); doi: 10.1117/12.2536946. PDF: 8 pages (Scopus -ISSN: 2577-5421)*

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE ADDITIVE PACKAGE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF VISCOUS LIQUIDS IN THE STUDY OF CAVITATION PHENOMENA

Vladyslav Kryvosheiev, Ihor Nochnichenko, Oleh Jakhno, Oleksii Koval

Abstract. *In the study of cavitation phenomena that occur in hydrodynamic cavitators, one of the key factors is the working fluid. Laboratory analysis of high-viscosity working fluids, both Newtonian and non-Newtonian, which are used in experimental stands and are widespread. The effect of an additional additive package was also investigated. Structural and morphological analysis of working fluids on a rotary viscometer REOTEST-2 was performed. Graphs of dependences of rotor shaft speed dependence on shear stress are constructed. The value of the coefficient of dynamic viscosity of the studied working fluids is calculated. Based on the results of rheological research of working fluids and the influence of the additive package on them, the working fluids most selected for further research of cavitation phenomena were selected.*

Keywords: *hydrodynamic cavitator, hydrodynamic cavitation; hydroluminescence; working fluid, dynamic viscosity, rotary viscometer; speed of rotation; shear stress.*

УДК 621.22

Дослідження проточної ультразвукової кавітаційної установки

Олександр Луговський, Ігор Гришко, Олександр Галецький, Андрій Зілінський

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

Анотація. *Вода є одним з найбільш цінних природних багатств у світі. Постійне збільшення населення та інтенсивний розвиток технологій потребують постійного покращення якості технологій для очищення рідин. В роботі представлено результати випробування ультразвукової кавітаційної установки для створення ультразвукового кавітаційного середовища з частотою коливання 22кГц. Під час випробування в установку вводились тестові мікроорганізми і перевірялася їхня життєздатність після випробування.*

Ключові слова: *ультразвукова кавітаційна обробка; ультразвукове середовище; стерилізація; випробування; бактерії.*

Ефективність багатьох технологічних процесів, які застосовують явище ультразвукової кавітації, залежить від рівня інтенсивності введених в рідину ультразвукових коливань. Відомо, що ультразвукові коливання інтенсивністю до 2 Вт/см² здатні стимулювати розмноження мікроорганізмів, коливання інтенсивністю 5...10 Вт/см² успішно використовуються в процесі диспергування твердих речовин, забруднень або іржі, коливання інтенсивністю 10...20 Вт/см² створюють інтенсивні мікротечії і тому використовуються для очистки еластичних поверхонь [1, 2]. Коливання інтенсивністю понад 20 Вт/см² здатні згубно впливати на ряд шкідливих та небезпечних для здоров'я людини мікроорганізмів за рахунок виникнення кавітаційних ефектів, які руйнують цілісність клітинної оболонки мікроорганізмів та призводять до їх загибелі, тому саме такі ультразвукові коливання є ефективними для стерилізації поверхонь будь якого медичного, технологічного, промислового обладнання та об'ємів води [3–5]. У більшості існуючого ультразвукового кавітаційного технологічного обладнання промислового та медичного призначення успішно використовується ультразвук інтенсивністю до 10 Вт/см² [6]. Цей факт обумовлений проблематикою введення в рідину ультразвуку з більш високим рівнем інтенсивності. Проблеми виникають внаслідок утворення на випромінюючій поверхні парогазового прошарку, який різко зменшує ККД. кавітатора. Проте тільки наявність подібного кавітаційного обладнання з високою інтенсивністю ультразвуку (понад 20 Вт/см²) може забезпечити ефективність сучасної вкрай важливої безреагентної технології знезараження рідин, яка здатна поліпшити екологічну безпечність багатьох промислових виробництв та покращити санітарно-епідеміологічні умови життєдіяльності людини. Тому наразі є актуальним розробка ефективного кавітаційного технологічного обладнання з високою інтенсивністю ультразвуку і

відповідно високою здатністю до знезараження води, що може мати широке практичне застосування у різних галузях науки та господарства як на теренах нашої держави так і за її межами.

Знезараження води із застосуванням ультразвукового устаткування ґрунтується на здатності за певних умов викликати явище кавітації, при якому порушується цілісність рідини з утворенням кавітаційних бульбашок в напівперіодах розрідження в ультразвуковій хвилі та їх схлопуванні в напівперіодах стиснення. Потужні ударні хвилі та інтенсивні кумулятивні струмені, що виникають при схлопуванні кавітаційних бульбашок, здатні руйнувати шкідливі мікроорганізми. Залежить рівень бактерицидного дії від інтенсивності коливань звуку. Але дані установки вимагають певного обладнання, кваліфікованого обслуговування, також вони досить дорогі.

Для утворення ультразвукових коливань застосовуються магнітострикційні або п'єзокерамічні випромінювачі, які відрізняються суттєво більшим ККД, але меншою потужністю. В технологічному процесі знезараження зазвичай застосовуються частоти 20 – 60 кГц при інтенсивності від 20 до 120 Вт/см²

Командою науковців було розроблено та виготовлено ультразвуковий кавітаційний пристрій, який генерує ультразвукове кавітаційне середовище у проточній трубі (рисунок 1). Оцінка ефективності роботи, запропонованого ультразвукового кавітаційного знезаражувача, проводилася шляхом введення в кавітаційну область тестових мікроорганізмів [7].

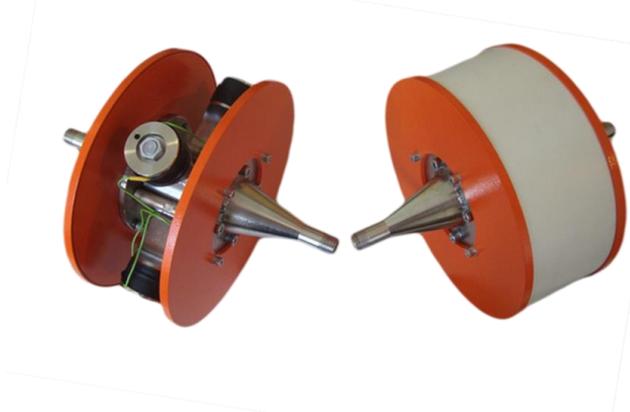


Рис.1. Ультразвуковий кавітаційний знезаражувачий пристрій

Для уникнення бактеріального забруднення кавітаційної камери зразки мікроорганізмів були розміщені в пробірках та флаконах різних діаметрів з об'ємом 13 см³ та 150 см³ відповідно. Для чистоти експериментального дослідження мікроорганізми піддавались дії ультразвукової кавітації з частотою 22 кГц та дотриманням температури не вище ніж 50 °С. Ця умова була витримана для того, щоб не виникало температурного руйнування мікроорганізмів. Час кавітаційної обробки при експериментах складав 1, 3 та 5 хв. Об'єм камери 240 см³. З результатами експерименту можна ознайомитись в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати експерименту в 1 режимі

п/ п	Мікроорганізм	Початкова кількість (КУО/мл)	Залишкова кількість (КУО/мл)	Ефективні сть УЗ обробки
Режим 1: частота УЗ – 22 кГц, потужність 420-430 Вт, температура середовища 19-40 С, тривалість 5 хв, обробка в пробірках та флаконах				
	<i>Bacillus subtilis</i>	3,6-3,7*10 ⁴	3,6-3,9*10 ⁴	0%
	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	2,8-3,0*10 ⁴	2,6-2,9*10 ⁴	3,4-7,1%
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2,0-7,0*10 ³	1,8-7,0*10 ³	0-11,1%

Проведена робота дозволяє оцінити ефективність ультразвукового кавітаційного знезараження та надати рекомендації для організації відповідного технологічного процесу знезараження, наприклад, пастеризації та гомогенізації в харчовій промисловості.

В подальшому заплановано проведення робіт по забезпеченню підвищення продуктивності кавітаційної обробки рідких середовищ.

Список літератури

1. Луговской, А. Ф., Чухраев, Н. В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях: / за ред. В. «Київ. Ун-т». Київ: 2007. 244с.
2. Перник, А. Д. Проблемы кавитации: Ленинград: Судостроение, 1988. 438с.
3. Яхно, О. М., Луговская, Е. А., Мовчанюк, А. В. Исследование возможностей технологии ультразвуковой кавитационной очистки эластичных поверхностей. Вісн. Нац. техн. ун-ту України „Київ. політехн. ін-т” : серія „Машинобудування”. 2010. No. 58. С. 234–240.
4. Светлова, О. Р. Разработка комплексных методов очистки жидких сред от твёрдой фазы в технологии получения продуктов переработки целлюлозы / Бийск: 2007.
5. Tao, Y., Cai, J., Huai, X., та ін. Application of Hydrodynamic Cavitation to Wastewater Treatment / 2016.
6. Niemczewski, B. Chemical activation of ultrasonic cavitation. Ultrasonics Sonochemistry. 1999. Vol. 6, No. 4. С. 211–216.
7. Ультразвукове кавітаційне обладнання: пат. 108589 Луговський, О. Ф., Мовчанюк, А. В., Гришко, І. А., та ін.; опубл. 2015, .

INVESTIGATION OF ULTRASONIC CAVITATION INSTALLATION

Oleksandr Luhovskyi, Ihor Gryshko, Oleksandr Haletskyi, Andrii Zilinskyi

Abstract. Water is one of the most valuable natural resources in the world. The constant increase of the population and intensive development of technologies require constant improvement of the quality of technologies for purification of liquids. The paper presents the results of testing an ultrasonic cavitation unit to create an ultrasonic cavitation medium with an oscillation frequency of 22 kHz. During the test, test microorganisms were introduced into the installation and their viability was tested after the test.

Keywords: ultrasonic cavitation treatment; ultrasonic medium; sterilization; trial; bacteria.

УДК 66.084.8:66.063.6

Ультразвукові кавітаційні технології обробки дисперсних середовищ, як складні динамічні системи «кавітатор – технологічне середовище»

Ірина Берник

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна.

Анотація. Досліджено процес ультразвукової кавітаційної технології обробки дисперсних середовищ на основі представлення акустичного апарату і технологічного середовища єдиною структурованою системою. При цьому визначено їхню взаємодію у часі і просторі на всіх стадіях процесу кавітацій: зародження бульбашок, їх розвиток та сплескування. Врахування множинного перетворення енергії ультразвукових коливань, як необхідність підвищення ефективності процесу, ґрунтувалося на поетапному визначенні якісної та кількісної картини утворення енергії в зоні контакту кавітаційного апарату і технологічного середовища. Раціональне випромінювання енергії в дисперсне середовище здійснено проміжним пристроєм, що входить в загальну хвильову систему із реалізацією резонансного режиму. Вдосконалені існуючі та розроблені нові критерії оцінки методів акустичної обробки технологічних середовищ: інтенсивність, співвідношення енергій, коефіцієнт поглинання енергії, швидкості зміни тиску у часі; співвідношення хвильового опору середовища в режимах кавітації до опору початкового стану середовища, швидкості акустичного апарату в контактній зоні до швидкості в середовищі від процесу зародження бульбашок кавітаційної області до процесу їхнього сплескування. Вирішено завдання структурного і параметричного синтезу динамічної системи акустичний апарат – дисперсне середовище, яка відображає ціле направлене використанням енергії на всіх стадіях кавітаційного процесу обробки дисперсного середовища.

Ключові слова: ультразвук, кавітація, акустичний апарат, дисперсне середовище, об'єм, бульбашка, стадії, критерії, параметри, енергія.

Ультразвукові кавітаційні технології використовуються для реалізації технологічних процесів хімічної промисловості та переробних виробництв [1-5]. Широке впровадження ультразвукової

техніки та технології обумовлено унікальністю та ефективністю здійснення технологічних процесів обробки та створення нових матеріалів. Подальший розвиток ультразвукових кавітаційних технологій запропоновано в роботі виходячи із наступних міркувань. Основним шляхом інтенсифікації методів акустичної обробки дисперсних середовищ є необхідність розглядати акустичну систему кавітатора і технологічне середовище, як важливу складову цілісної, спільної системи незалежно від того чи впливає середовище, чи не впливає на рух кавітатора. Адже суть інтенсифікації полягає не в реалізації режиму на контакті з середовищем, а безпосередньо в середовищі на стадії сплескування бульбашок. Конструктивні та технологічні параметри мають базуватися на ідеї, що вони створюються на реалізацію процесу збільшення ступеня концентрації енергії в газових бульбашках з максимальною їх кількістю сплескування в кавітуючому об'ємі технологічного середовища. Отже створена модель та її дослідження реалізується на основі представлення акустичного апарату і технологічного середовища єдиною структурованою системою, з урахуванням їхньої взаємодії та взаємовпливу у часі і просторі [6–8]. Окрім цього модель відображає у рівняннях руху акустичні параметри і властивості із врахуванням законів їх зміни, як в акустичному апараті, так і в технологічному середовищі. За таким підходом вирішується проблема достовірного забезпечення заданих значень робочої частоти коливальних, коливальної потужності апарату та необхідної інтенсивності, як ключового параметру обробки середовища. Рациональне випромінювання енергії в робоче середовище декларується певними розмірами поверхні, що випромінює енергію, віддається належне випромінювачу. Приймається умова, що саме призначення випромінювача полягає в тому, щоб найбільш ефективно ввести енергію коливальних в робоче середовище при заданих значеннях амплітуди коливального тиску або амплітуди коливальної швидкості і потужності. Необхідне узгодження з перетворювачем здійснюється деяким проміжним пристроєм, що входить в загальну хвильову систему, що має працювати в резонансному режимі, що також визначає, зокрема, її параметри. На цьому принципі визначаються необхідні конструктивні рішення, що пов'язані з особливостями побудови технологічних вузлів ультразвукової апаратури. Врахування множинного перетворення енергії ультразвукових коливальних, як необхідність підвищення ефективності процесу, ґрунтувалося на поетапному визначенні якісної та кількісної картини утворення енергії в зоні контакту кавітаційного апарату і технологічного середовища та умов передачі енергії до технологічного середовища.

Для визначення та послідовного вираховування етапів перетворення енергії використані існуючі та розроблені нові критерії оцінки методів акустичної обробки технологічних середовищ: інтенсивність, співвідношення енергій, синергетичний коефіцієнт, коефіцієнт поглинання енергії, швидкості зміни тиску у часі; хвильового опору середовища в режимах кавітації до опору початкового стану середовища, швидкості акустичного апарату в контактній зоні до швидкості в середовищі від процесу зародження бульбашок кавітаційної області до процесу їхнього сплескування та інші. За таким підходом сформульовані синергетичні принципи вдосконалення режимів та параметрів систем «ультразвукова установка – технологічне середовище». Перш за все, це створення умов для їх можливої здатності ціле направлено спрямовувати енергію на протікання кавітаційного процесу обробки технологічного середовища. При цьому враховано, що при створенні умов реалізації максимального спрямовування потоків енергії, акустичний апарат, як джерело енергії і технологічне середовище, як споживач енергії, володіють принципово різними властивостями та їх проявленням при взаємодії між собою. швидкість протікання кавітаційного процесу обробки технологічного середовища визначається не енергією первинної акустичної хвилі, а енергією, що спонукає сплескування кавітаційних бульбашок.

За структурою ультразвукова технологічна система складається із наступних підсистем: електричний генератор; перетворювач електричних коливальних в акустичні; випромінювач; пристрій, де знаходиться об'єкт обробки – технологічне середовище.

Визначена умова створення синергетичних систем «ультразвукова установка – технологічне середовище» є виконання співвідношення енергій досліджуваної системи:

$$k_c = E_c / E_{n,x} \quad \rightarrow \max, \quad (1)$$

де k_c – коефіцієнт синергії системи (коефіцієнт кавітаційного використання акустичної енергії); E_c – енергія на сплескування бульбашок (енергія, що витрачається на утворення кавітації в одиниці об'єму середовища); $E_{n,x}$ – щільність підведеної енергії первинної хвилі.

Очевидно, що не вся енергія $E_{n,x}$ витрачається на утворення кавітації, тобто $k_c < 1$. Умова (1) певним чином корелюється з виразами критеріїв. Енергія, що виділяється при сплескуванні кавітаційних бульбашок, залежить не тільки від потужності акустичного випромінювання, а і від об'ємної щільності акустичної енергії. Окрім енергетичного показника враховується інформація про внутрішню структуру об'єму технологічного середовища: щільність, реологічні властивості, кількості кавітаційних бульбашок та усереднений розмір бульбашок, бажаний об'єм кавітуючих бульбашок, як складової продуктивності. Зміна цих параметрів на всіх етапах протікання кавітаційного процесу є необхідною умовою визначення оптимальних режимів та параметрів. Важливим аспектом досліджень є встановлений поріг кавітації. При інтенсивності первинної акустичної хвилі нижче порога кавітації процес або зовсім не здійснюється, або відбувається із низькою швидкістю. Поріг кавітації встановлено для технологічних середовищ з різними реологічними властивостями. Значення інтенсивності первинної акустичної хвилі, яка знаходиться в межах від порогу кавітації до режиму розвиненої кавітації, являється наступною умовою створення синергетичних систем «ультразвукова установка – технологічне середовище». Обумовлено це тим, що при досягненні режиму розвиненої кавітації подальше збільшення інтенсивності первинної акустичної хвилі вже не є ефективним способом протікання процесу кавітації.

Шар середовища в контактній зоні, по відношенню до коливальної системи, розглядається як навантаження. Виходячи з цього припущення, будь-яке фізичне середовище (що є навантаженням на акустичну систему) аналітично описане у вигляді системи, що представлена активною і реактивною складовою (система з розподіленими параметрами) або у вигляді пружно – інерційною і дисипативною (система із зосередженими параметрами) утворюють реакцію діючої на ці елементи зовнішньої сили кавітатора.

Основною складовою, прикладеної кавітатором до такої системи сили, є швидкість переміщення тієї або іншої точки технологічного середовища. Цей результат тепер є важливим не тільки з точки зору оцінки складових імпедансу середовища (реакцією), а і є важливою інформацією етапу створення синергетичних систем «ультразвукова установка – технологічне середовище».

Функціонал швидкості зміни об'єму бульбашок V представлений наступною залежністю:

$$V(t) = f(t, R_0, l, n, \rho_l, \mu_l, \sigma, \rho_g, \mu_g, p_3, p_6). \quad (2)$$

Приймаючи час t , радіус бульбашки R_0 , щільність ρ_l , як основні незалежні параметри за розмірністю та використовуючи основні положення теорії розмірностей, приведені всі параметри (2) до безрозмірного виду відносно утвореного об'єму бульбашок: t - час, [T]; l - характерна довжина у напрямку хвильового руху бульбашок, [L]; R_0 - початковий радіус бульбашки, [L]; n - кількість бульбашок на одиницю об'єму, $\left[\frac{1}{L^3}\right]$; ρ_L - щільність середовища, $\left[\frac{M}{L^3}\right]$; μ_L - в'язкість, $\left[\frac{M}{LT}\right]$; σ - поверхневий натяг, $\left[\frac{M}{T^2}\right]$; ρ_g - щільність газу, $\left[\frac{M}{L^3}\right]$; μ_g - в'язкість газу, $\left[\frac{M}{LT}\right]$; p_3 - зовнішній тиск $\left[\frac{M}{LT^2}\right]$; p_6 - тиск всередині бульбашок, $\left[\frac{M}{LT^2}\right]$.

Використовуючи приведені розмірності параметрів, функціональну залежність (2) представлено у безрозмірному виді:

$$\frac{V}{\frac{4}{3}\pi R_0^3/t} = f\left(\frac{l}{R_0}; nR_0^3; \frac{\mu_l}{\rho_l R_0^2/t}, \frac{\sigma}{\rho_l R_0^3/t^2}, \frac{\rho_g}{\rho_l}, \frac{\mu_g}{\rho_l R_0^2/t}, \frac{p_3}{\rho_l R_0^2/t^2}, \frac{p_3 - p_6}{\rho_l R_0^2/t^2}\right). \quad (3)$$

Здійснена оцінка залежності (3) шляхом врахування ступені впливу параметрів на швидкість утворення об'єму кавітуючого технологічного середовища. Для цього була прийнята умова, що час сплескування τ_c бульбашки має вигляд:

$$\tau_c = 0.915R_0 \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_3 - \rho_6}}. \quad (4)$$

Тоді залежність (3) була приведена до виду:

$$\frac{V}{\frac{4}{3}\pi R_0^3/\tau_c} = f(l; N; \frac{\mu_l}{\rho_l R_0^2/\tau_c}, \frac{\sigma}{\rho_l R_0^3/\tau_c^2}, \frac{\rho_2}{\rho_l}, \frac{\mu_2}{\rho_l R_0^2/\tau_c}, \frac{p_3}{p_3 - p_6}, \frac{t^2}{\tau_c^2}). \quad (5)$$

Для середовищ з малою в'язкістю на стадії сплескування бульбашок можна знехтувати в'язкістю та поверхневим натягом. Тоді залежність (5) для таких умов можна спростити до виду:

$$\frac{V}{\frac{4}{3}\pi R_0^3/\tau_c} = f(l; N; \frac{p_3}{p_3 - p_6}, \frac{t^2}{\tau_c^2}). \quad (6)$$

Залежність (6) засвідчує важливість впливу тиску, діаметру бульбашки та часу сплескування на швидкість утворення об'єму кавітуючого середовища з малою в'язкістю. Для інших технологічних середовищ рекомендовано використовувати залежність (3). Таким чином, вирішено завдання структурного і параметричного синтезу динамічної системи акустичний апарат – дисперсне середовище, яка відображає ціле направлене використання енергії на всіх стадіях кавітаційного процесу обробки дисперсного середовища.

Список літератури

1. Luhovskyi O. F., Movchaniuk A. V., Berynk I. M., Shulha A. V., Hryshko I. A. (2021). *Aparatne zabezpechennia ultrazvukovykh kavitatsiinykh tekhnolohii: Monohrafiia*. K: KPI im. Ihoria Sikorskoho. Vydavets FOP Kushnir Yu.V. 216 s. [in Ukrainian].
2. Luhovskyi O. F., Shulha A. V., Berynk I. M., Hryshko I. A., Movchaniuk A. V., Zilinskyi A. I. (2022). *Ultrazvukovi tekhnolohichni protsesy. Rozpylennia ta ekstrahuvannia: Monohrafiia*. Vinnytsia: Vydavets FOP Kushnir Yu.V. 288 s. [in Ukrainian].
3. Luhovskyi O. F., Hryshko I. A., Zilinskyi A. I., Shulha A. V., Movchaniuk A. V., Berynk I. M. (2022). *Ultrazvukovi kavitatsiini tekhnolohii. Znezarazhennia ta filtruvannia. Monohrafiia*. Vinnytsia: Vydavets FOP Kushnir Yu.V. 268 s. [in Ukrainian].
4. Dolinskij A. A., Ivanickij G. K. (2008). *Teplomassoobmen i gidrodinamika v parozhidkostnykh dispersnykh sredah. Teplofizicheskie osnovy diskretno-impulsnogo vvoda energii*. K.: Naukova dumka. 381 s. [in Russian].
5. Fedotkin I.M., Nemchin A.F. (1984). *Ispolzovanie kavitacii v tehnologicheskikh processah*. K.: Visha shkola. Izd-vo pri Kiev. Un-tet. 68 s. [in Russian].
6. Berynk I. (2020) *Estimation of efficiency of ultrasonic cavitation processing of technological media on energy criteria. Mechanics and Advanced Technologies*. № 2 (89). C. 18–28.
7. Berynk I.M. *Pidvyshchennia efektyvnosti ultrazvukovoi tekhnolohichnoi dii pry obrobtsti kharchovoi syrovyny*. (2021). *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. №4(103). S. 99–109. [in Ukrainian].
8. Nazarenko I., Berynk I. (2021). *Research of the processes of acoustic cavitation technology for processing dispersed media. Dynamic processes in technological technical systems: monograph/ I. Nazarenko, O. Dedov, I. Berynk, A. Bondarenko, A. Zapryvoda, M. Nazarenko et. al.; Kharkiv: PC Technology Center. P. 94–109.*

ULTRASONIC CAVITATION TECHNOLOGIES OF DISPERSED MEDIA PROCESSING AS COMPLEX DYNAMIC DYNAMIC SYSTEMS "CAVITATOR - TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT"

Iryna Berynk

Abstract. The process of ultrasonic cavitation technology of processing of dispersed media on the basis of representation of the acoustic device and technological environment by uniform structured system is investigated. At the same time, their interaction in time and space at all stages of the cavitation process is determined: bubble formation, their development and flattening. Taking into account the multiple energy conversion of ultrasonic vibrations, as the need to increase the efficiency of the process, was based on the step-by-step determination of qualitative and quantitative picture of energy production in the contact zone of the cavitation apparatus and technological environment. Rational radiation of energy into the dispersed medium is carried out by an

intermediate device that is part of the general wave system with the implementation of the resonant mode. Existing and new criteria for evaluating methods of acoustic treatment of technological environments have been improved: intensity, energy ratio, energy absorption coefficient, rate of pressure change over time; the ratio of the wave resistance of the medium in the cavitation modes to the resistance of the initial state of the medium, the speed of the acoustic apparatus in the contact zone to the speed in the medium from the process of nucleation of the cavitation region to the process of flattening. The problem of structural and parametric synthesis of the dynamic system of the acoustic apparatus - the dispersed environment which reflects the whole directed use of energy at all stages of cavitation process of processing of the dispersed environment is solved.

Keywords: *ultrasound, cavitation, acoustic apparatus, dispersed medium, volume, bubble, stages, criteria, parameters, energy.*

УДК 621.867

Оптимізація форми та підбір розмірів континуальної ділянки дискретно-континуального міжрезонансного вібростола

Олексій Ланець, Павло Майструк, Володимир Майструк, Ірина Деревенько
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Анотація. Для забезпечення високоефективних міжрезонансних режимів роботи вібраційним обладнанням, коливальні маси системи повинні володіти певними інерційно-жорсткісними параметрами, а також певною частотою власних коливань. Недоліком високоефективних міжрезонансних коливальних систем є те, що третя реактивна маса повинна бути малою, а отже використання складних та габаритних конструкцій неможливо. Тому найдоцільніше використовувати в якості реактивної маси континуальні ділянки. Континуальна ділянка, яка є гнучким тілом, оптимально поєднує у собі інерційні та жорсткісні параметри. В наукових працях вже була розглянута конструкція вібраційного столу, в якій континуальна ділянка є звичайною прямокутною пластиною, що шарнірно закріплена в проміжній масі. Таке рішення виглядає доволі перспективним. Проте є ймовірність, що прямокутна форма пластини не оптимальний варіант для забезпечення максимальної енергоефективності. В даній роботі запропоновано альтернативні форми пластин, що можуть використовуватися в якості реактивної маси міжрезонансного високоефективного вібростола (параболічна випукла пластина, параболічна вгукла пластина, ромбоподібна пластина, X-подібна пластина). За допомогою імітаційного моделювання в програмному продукті SolidWorks Simulation розраховано власні частоти коливань та підібрано оптимальні геометричні розміри запропонованих пластин. Очікується, що при встановленні у вібраційній стіл параболічної випуклої або ромбоподібної пластин, вібраційне збурення на робочому органі набуде більших значень у порівнянні із звичайною прямокутною пластиною. Отримані висновки планується підтвердити у подальших фізичних експериментах.

Ключові слова: міжрезонансна вібраційна машина; континуальна ділянка; пластина; змінний поперечний переріз; власна частота коливань.

На сьогодні в багатьох галузях будівельної, машинобудівної та гірничої промисловостей для виконання технологічних завдань застосовується різноманітне вібраційне обладнання: вібраційні транспортери, вібраційні бункерні живильники, вібраційні столи. Найчастіше для силового збурення коливальних мас таких вібраційного обладнання використовують електромагнітний привід. Він дозволяє забезпечити необхідну силу збурення при відносній легкості виготовлення, простоті та надійності застосування. Проте типові конструкції вібраційного обладнання з електромагнітним приводом були спроектовані та впроваджені у виробництво ще кілька десятиліть тому, і на даний момент, при швидкому розвитку технологій, стали відносно енергозатратним видом обладнання, яке не в повній мірі використовує потенціал енергоефективності. Тому серед сучасних тенденцій розвитку промисловості створення енергоощадного технологічного обладнання, в тому числі і вібраційного, займає вагоме місце.

Оскільки існуючі одно- та двомасові конструкції вібраційних машин з електромагнітним приводом не мають перспектив суттєвого покращення енергоефективності, останнім часом розвиваються тримасові рішення [1]. Зокрема, в статті [2] нами запропоновано використання в якості реактивної маси вібраційного стола континуальної ділянки, тобто гнучкого тіла, що поєднує

у собі інерційні та жорсткісні параметри. Континуальна ділянка є звичайною прямокутною пластиною, що шарнірно закріплена в проміжній масі (рис. 1).

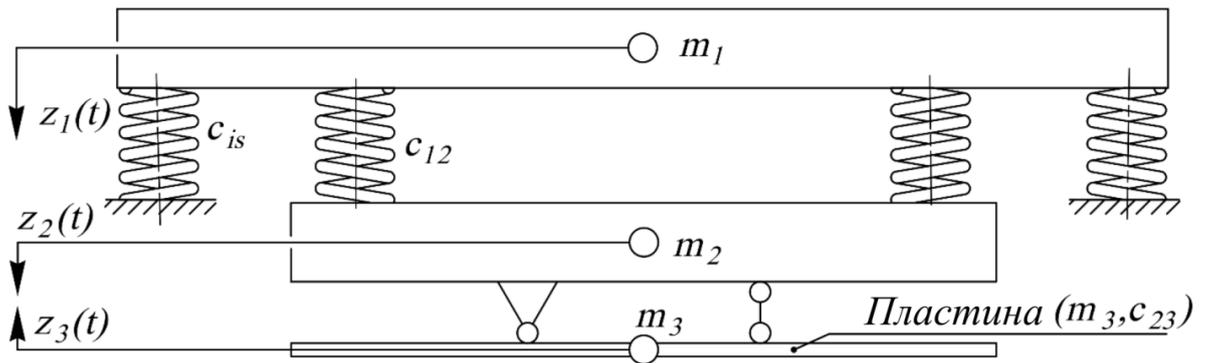


Рис. 1. Принципова схема міжрезонансного вібраційного стола

З рис. 1 видно, що континуальна ділянка синтезується в дискретну систему міжрезонансного вібраційного стола з електромагнітним приводом. Вібраційний стіл складається з активної m_1 , проміжної m_2 та реактивної m_3 мас, що рухаються за узагальненими координатами $z_1(t)$, $z_2(t)$ та $z_3(t)$ відповідно. Коливальні маси вібраційного стола послідовно з'єднані між собою за допомогою систем пружних вузлів c_{12} та c_{23} . Активна маса кріпиться до фундаменту за допомогою віброізоляторів c_{is} . Реактивна маса у вигляді пластини є тілом з розподіленими параметрами (вона поєднує у собі інерційні і жорсткісні параметри). Дані параметри є актуальними лише в динамічних процесах. В таких випадках вони фігурують як абстрактні зведені величини. В якості матеріалу пластини вибрано конструкційну сталь. Даний матеріал є феромагнетиком і має відносно невелику вартість. Схема кріплення пластини показана на рис. 2.

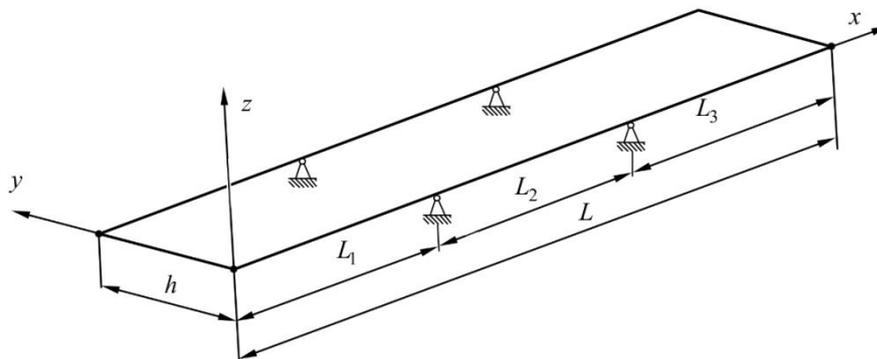


Рис. 2. Розрахункова схема кріплення пластини

Як видно з рис. 2, кріплення пружної пластини є доволі специфічним. Це зумовлено конструкцією проміжної маси та розташуванням шарнірів.

Загалом пластина має безліч власних форм та власних частот коливання і є перспективним об'єктом досліджень при проектуванні вискоелективних міжрезонансних механічних коливальних систем (МКС). Детально розглянуто теорію пластин та оболонок у працях Тимошенка С.П. [3]. Також в літературі часто зустрічається вібраційний аналіз функціонально-градуированих пластин (FG) [4-6]. Зокрема, розглядаються різні граничні умови закріплення FG пластин, як прості умови шарнірно закріплених (SSSS) або жорстко защемлених (CCCC) по периметру, так і складніші умови типів CCSS, CSSS, CFSS, SFSS, SSSF та інші.

Із теоретичних відомостей, наведених в [3-6] можна зробити висновок, що розглянута в статті [2] прямокутна форма пластини не є оптимальним варіантом для забезпечення максимальної енергоефективності роботи описаного вібростолу. Тому пропонується оптимізувати форму пластини, що виконує роль континуальної ділянки. Для цього розглянемо наступні альтернативні варіанти (рис. 3): параболічна випукла пластина (рис. 3, а); параболічна впукла пластина (рис. 3, б); ромбоподібна пластина (рис. 3, в); Х-подібна пластина (рис. 3, г).

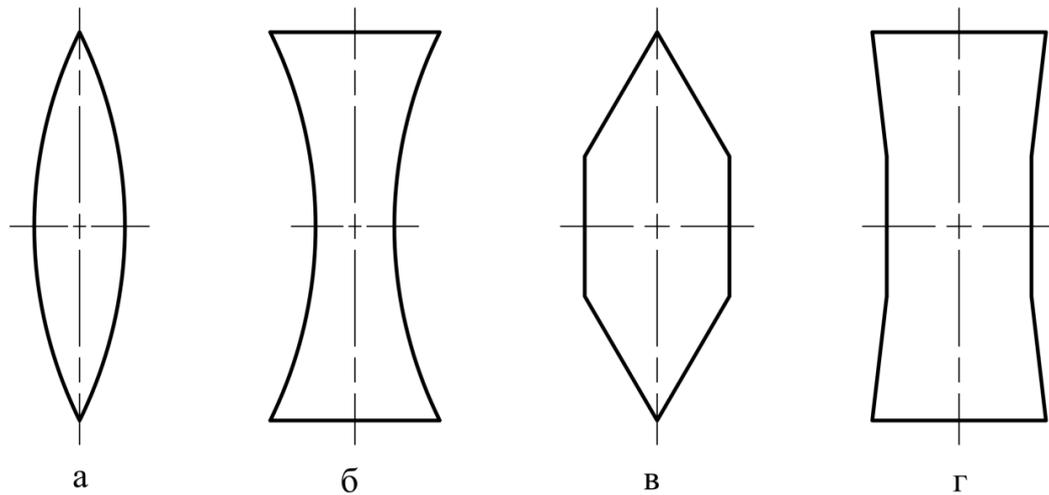


Рис. 3. Досліджувані типи пластин: а – параболічна випукла; б – параболічна впукла; в – ромбоподібна; г – Х-подібна

Найважливішим параметром під час синтезу дискретно-континуальної системи є власна частота пластини ω . Адже саме правильний підбір власної частоти реактивної маси дозволяє отримати високоефективний робочий режим дискретно-континуальних міжрезонансних вібраційних машин. Для забезпечення міжрезонансного режиму роботи вібраційної машини необхідно, щоб перша власна частота коливань континуальної ділянки була в межах $\omega = 49 \dots 49,5$ Гц. Другим важливим параметром пластини є розміри для її кріплення в проміжній масі. Необхідні значення розмірів для кріплення становлять $L_2 = 176$ мм, $h = 87,5$ мм.

Всі досліджувані типи пластин повинні виконувати ці умови. Розрахунок власних частот коливань пластин проведений в програмному продукті SolidWorks Simulation. Результати розрахунків представлено на рис. 4.

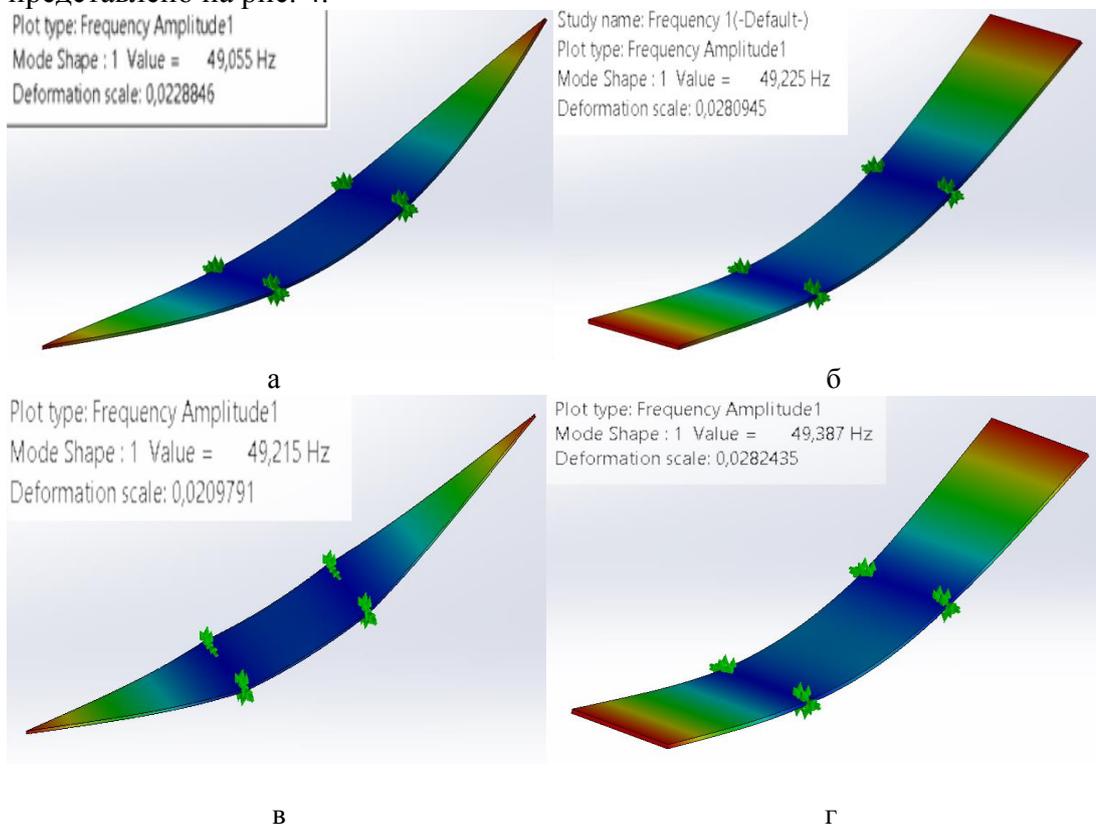


Рис. 4. Результати розрахунків першої власної частоти коливань різних типів пластин: а – параболічної випуклої; б – параболічної впуклої; в – ромбоподібної; г – Х-подібної

На основі проведених розрахунків підібрано оптимальні геометричні параметри для всіх типів досліджуваних пластин (рис. 5).

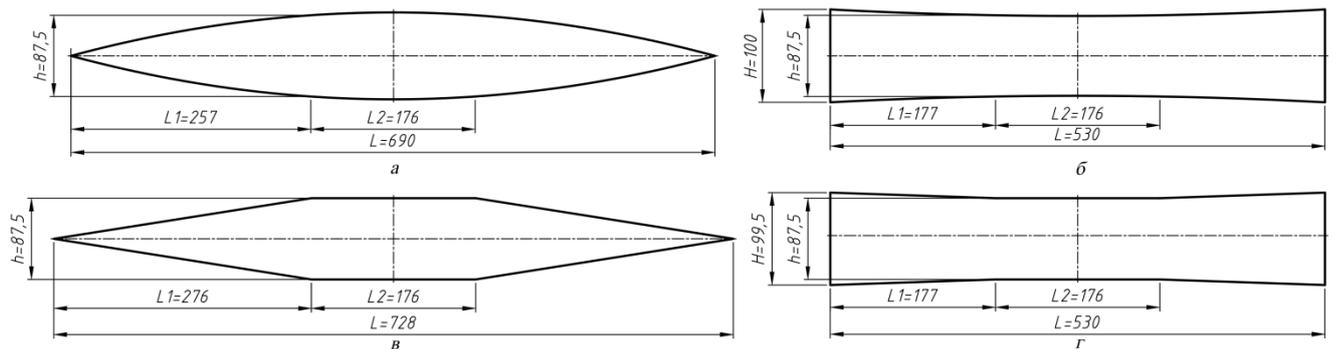


Рис. 5. Оптимальні геометричні розміри досліджуваних пластин: а – параболічної випуклої; б – параболічної вгуклої; в – ромбоподібної; г – Х-подібної

Отже, аналізуючи підібрані геометричні розміри пластин – континуальних ділянок, зображених на рис. 5, можна зробити висновок, що пластини, товщина h яких сходиться до нуля на краях, мають довші ділянки L_1 та L_3 . Відповідно, існує ймовірність, що такі пластини (типів а, в) дозволяють отримати більше динамічне підсилення коливань робочого органу вібраційного стола. Дане твердження потрібно підтвердити за допомогою фізичних експериментів, які плануються провести в подальших дослідженнях.

Список літератури

1. Ланець О. (2018) *Основи розрахунку та конструювання вібраційних машин. Книга 1. Теорія та практика створення вібраційних машин з гармонійним рухом робочого органу: навч. посібник / О. Ланець.* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, – 612 с.
2. Maistruk P., Lanets O., Stupnytsky V. (2021) *Approximate Calculation of the Natural Oscillation Frequency of the Vibrating Table in Inter-Resonance Operation Mode, Strojnický časopis - Journal of Mechanical Engineering. Vol. 71(2), 151-166.*
3. Timoshenko S. P., Woinowsky-Krieger S (1959) *Theory of Plates and Shells, 2-nd ed., McGraw-Hill, New York, USA, – 580 p.*
4. Reddy J. N. (2006) *Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells, 2-nd ed., CRC Press, Boca Raton, USA, – 568 p.*
5. Sharma A.K., Sharma P., Chauhan P.S., Bhadoria S.S (2018) *Study on Harmonic Analysis of Functionally Graded Plates Using Fem, International Journal of Applied Mechanics and Engineering. Vol. 23(4), 941-961.*
6. Saeed A., Hassan H., Wael E. (2013) *Vibration attenuation using functionally graded material, World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 7(6), 1111-1120.*

OPTIMIZATION OF THE SHAPE AND SELECTION OF THE DIMENSIONS OF THE CONTINUOUS MEMBER OF THE DISCRETE-CONTINUUM INTER-RESONANCE VIBRATING TABLE

Oleksii Lanets, Pavlo Maistruk, Volodymyr Maistruk, Iryna Derevenko

Abstract. To ensure highly efficient inter-resonance modes of operation of vibrating equipment, the oscillating masses of the system must have certain inertial-rigid parameters, as well as a certain frequency of natural oscillations. The disadvantage of highly efficient inter-resonance oscillating systems is that the third reactive mass must be small, and therefore the use of complex and dimensional structures is impossible. Therefore, it is best to use as a reactive mass the continuous members. The continuous member, which is a flexible body, optimally combines inertial and rigid parameters. Scientific works have already considered the design of the vibrating table, in which the continuous member is an ordinary rectangular plate hinged in the intermediate mass. This decision looks quite promising. However, it is likely that the rectangular shape of the plate is not the best option to ensure maximum energy efficiency. This paper proposes alternative forms of plates that can be used as the reactive mass of the inter-resonance high-efficiency vibrating table (parabolic convex plate, parabolic concave plate, diamond-shaped plate, X-shaped plate). With the help of simulation modeling in the software product SolidWorks Simulation, the natural frequencies of oscillations are calculated and the optimal geometric dimensions

of the proposed plates are selected. It is expected that when a parabolic convex or diamond-shaped plate is installed in a vibrating table, the vibrational perturbation on the working body will become greater than in a conventional rectangular plate. The obtained conclusions are planned to be confirmed in further physical experiments.

Keywords: inter-resonance vibrating machine; continuous member; elastic plate; variable cross-section; natural frequency of oscillations.

УДК 621.01

Синтез мультичастотних інерційних приводів вібраційних машин

Володимир Гурський¹, Віталій Корендій¹, Павло Крот², Ігор Кузьо¹

1 – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,

2 – Політехніка Вроцлавська, Вроцлав, Польща.

Анотація. Запропоновано нову конструкцію мультичастотного інерційного приводу у вигляді подвійного незбалансованого ротору, що дозволяє реалізувати одно- та двочастотні режими роботи. При цьому можуть бути отримані кругові та еліптичні траєкторії руху центру мас вібраційного грохоту та змінне зусилля збурення. Встановлено закономірності їх реалізації та визначено завдання їхнього синтезу, що передбачає підбір статичних моментів дебалансів, відносного кута зсуву фаз між ними та кутових швидкостей обертання. Проведено динамічний аналіз одномасової вібраційної машини на основі чисельного моделювання з урахуванням електромеханічних характеристик асинхронного двигуна. Встановлено умови пуску вібраційної машини, а також силові, кінематичні характеристики за різних співвідношень кутових швидкостей обертання внутрішнього та зовнішнього дебалансів.

Ключові слова: вібраційний грохот; інерційний привід; зусилля збурення; синтез; коливання; динаміка.

У більшості віброгрохотів і конвеєрів використовуються інерційні віброзбудники, які підбираються з урахуванням заданої траєкторії (лінійної, кругової, еліптичної) і напрямку руху [1] робочого елемента віброситя, транспортного лотка тощо. Різні траєкторії можна реалізувати за різної кількості дебалансів, які синхронно обертаються за рахунок примусової кінематичної або динамічної синхронізації. При цьому, відповідна кінематична синхронізація дисбалансів дозволяє усунути один із компонентів коливального руху, наприклад вертикальний. Відповідно до технологічних умов, керуючи рухом і початковою фазою допоміжного дебалансу, можна досягти як змінних, так і постійних значень сили збурення в певному діапазоні швидкостей. Найбільшого поширення набули приводи з двома вібраторами, що забезпечують синхронне обертання дебалансів. У таких системах зміною напрямку обертання вібраторів, їх частоти та фаз [2] можна керувати основними параметрами траєкторії руху центру мас (кутом нахилу головної осі еліпса, розміром осей еліпсів). Останнім часом на практиці використовується більша кількість незалежно встановлених вібраторів, кількість яких може бути три або чотири з контролем частоти їх синхронізації [3]. Збільшення кількості гармонік підвищує ефективність технологічних процесів у поєднанні зі зменшенням споживання енергії за рахунок реалізації менших амплітуд коливань [4]. Таким чином, мультичастотні системи мають очевидні перспективи.

Відповідно до вище сказаного запропоновано перспективний віброзбудник інерційного типу, виконаного у вигляді подвійного незбалансованого ротора [5, 6]. У цьому випадку можна сформулювати одним вібратором додаткові, зазвичай множинні гармоніки вищого або нижчого порядку відносно швидкості валу двигуна. Перевагами цього приводу є створення двох нестационарних сил збудження та двох основних гармонік у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Залежно від напрямків і різного співвідношення швидкостей обертання окремих роторів спостерігаються складні траєкторії центральної осі ротора.

Кінематична схема вібратора (рис. 1) з внутрішнім 1 та зовнішнім 2 дебалансом, розміщених коаксіально в одному корпусі 3 та передбачає використання одного або ж двох незалежних електродвигунів 4 і 5. У випадку одного електродвигуна необхідна кінематична синхронізація дебалансів за рахунок використання відповідної механічної передачі

(пасової, планетарної, фрикційної).

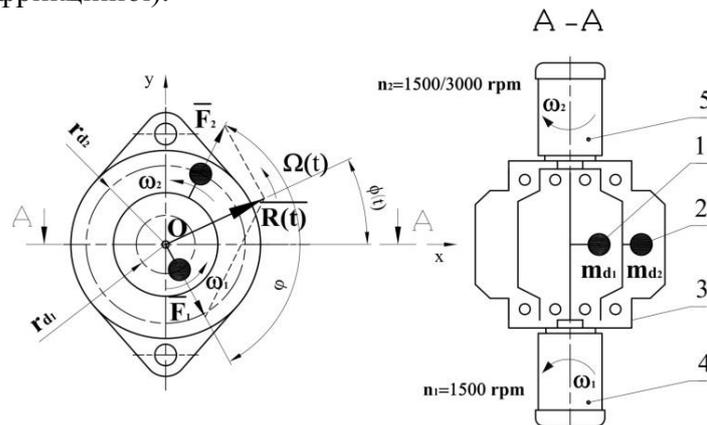


Рис.1. Кінематична схема інерційного вібратора:
 1, 2 – внутрішній та зовнішній дебаланс; 3 – корпус; 4, 5 – електродвигуни

Синтез технічних характеристик інерційного приводу полягає у реалізації вібратора з певним діапазоном зусилля збурення, що змінюється за відповідним законом:

$$R(t) = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos(\omega_2 t - \omega_1 t + \varphi)}, \quad (1)$$

де: $F_1 = m_1 r_1 \omega_1^2$, $F_2 = m_2 r_2 \omega_2^2$ – зусилля збурення внутрішнього та зовнішнього дебалансу, Н; $m_1 r_1$, $m_2 r_2$ – статичні моменти внутрішнього та зовнішнього дебалансів, кг·м; ω_1 , ω_2 – кутові швидкості обертання внутрішнього та зовнішнього дебалансів, рад/с; φ – відносний кут зсуву фаз між зовнішнім та внутрішнім дебалансом, рад.

Запроваджено завдання синтезу параметрів вібратора, за різних співвідношень кутових швидкостей обертання внутрішнього та зовнішнього дебалансів та реалізації вібратора із наперед заданим діапазон зусилля збурення:

знайти	$m_1 r_1, m_2 r_2$
умови	$\omega_2 = 2\omega_1$ або $\omega_1 = 2\omega_2$
обмеження	$R(t) \in R_{\min} \dots R_{\max}$
мета	$m_1 r_1 + m_2 r_2 \rightarrow \min$

Як показали останні дослідження, відносний кут зсуву фаз φ має вирішальне значення на характер пришвидшення робочого органа та траєкторію руху центру мас. Зокрема, для двочастотних режимів $\omega_2 = 2\omega_1$ змінюються характеристики пришвидшення в горизонтальному та вертикальному напрямі. Тому, виходячи із технологічного призначення вібраційної машини потрібно приймати відповідне значення відносного кута φ , що забезпечує доцільний характер зміни пришвидшення у відповідному напрямі. Одним із можливих засобів розширення можливостей приводу можна передбачити можливості оперативної зміни початкового кута дебалансних валів. Зокрема, для покращення умов пуску вібраційної машини доцільно використовувати в перехідних режимах роботи двигуна значення кута $\varphi = 180^\circ$ з наступною його зміною за номінальної кутової швидкості. Для реалізації еліптичних траєкторій для випадку частот обертання $\omega_2 = -\omega_1$ головна вісь еліпса буде нахилена під кутом $\varphi/2$ до горизонтальної осі. На величину осей та амплітуду коливань будуть впливати значення статичних моментів внутрішнього та зовнішнього дебалансів. У випадку співвідношення частот $\omega_2 = \omega_1$ реалізуються традиційні одночастотні кругові траєкторії центру мас. Для якісного моделювання процесів пуску використано електромеханічну модель [7] вібраційної системи з реальними характеристиками асинхронного електродвигуна: $P=1,1$ кВт, $U=230$ В, $n=1420$ об/хв, $p=2$, $R_s=7,6$ Ом, $R_r=3,6$ Ом, $L_s=0,6015$ Гн, $L_r=0,6015$ Гн, $L_m=0,58$ Гн, $J=0,005$ кг·м².

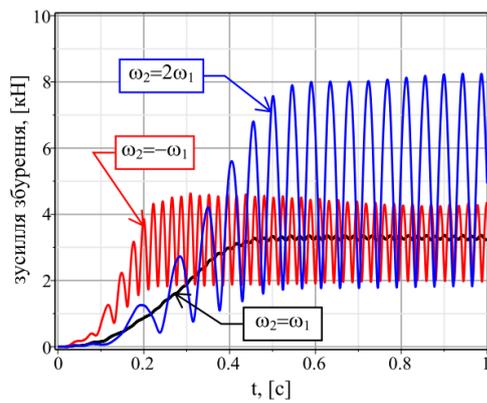


Рис.2. Часові залежності зусилля збурення інерційного вібратора за різних співвідношень кутових швидкостей

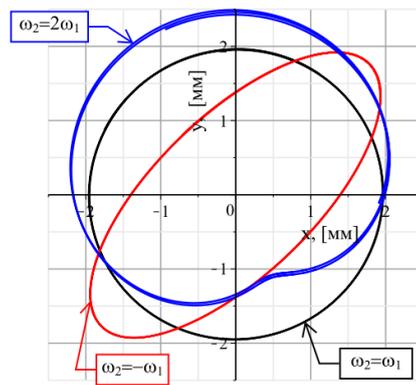
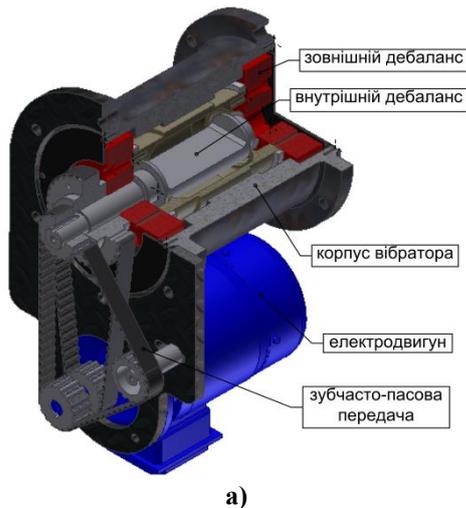
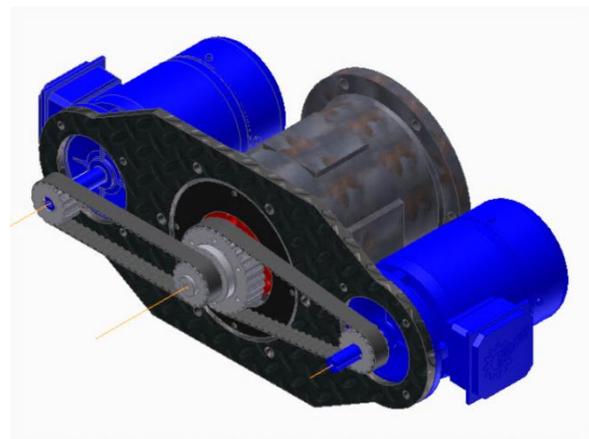


Рис.3. Траєкторії руху центру мас за різних співвідношень кутових швидкостей

Для того, щоб забезпечити постійне значення кута зсуву фаз потрібно використовувати схему з кінематично синхронізованими дебалансними валами та одним асинхронним електродвигуном (рис. 4, а). Переслідуючи універсальність запропонованого типу коаксialних незбалансованих вібраторів, запропоновано також двомоторну конструкцію для можливості оперативного керування режимами роботи (рис. 4, б). Порівняльні кінематичні характеристики вібратора за різних режимів роботи наведено в табл. 1. Найбільш ефективно себе проявляє інерційний привід за двочастотних режимів.



а)



б)

Рис.4. Загальний вигляд інерційного вібратора: а – кінематично синхронізованого, б – несинхронізованого.

Таблиця 1 – Технічна характеристика вібратора.

Параметр	Відношення кутових швидкостей ω_2/ω_1		
	1	-1	2
Статичний момент дебалансів 1/2, кг м		0,15/0,06	
Кутова швидкість дебалансів 1/2, рад/с	148,7/148,7	148,7/-148,7	148,7/297,4
Зусилля збурення, кН	3,6	2–4,6	2–8,6
Маса коливальних частин, кг		100	
Максимальна амплітуда коливань, мм	2	2,5	2,5
Максимальне пришвидшення, м/с ²	40,7	53,2	89,4
Споживана потужність, кВт		1,1 (2×1,1)	

Запропонований мультичастотний інерційний привід дозволяє реалізувати коливання із різними співвідношеннями частот обертання двох незалежних дебалансних валів. Залежно від

цього привід забезпечує як постійну силу збудження 3,6 кН, або в інших випадках випадку сила збудження змінюється в певному діапазоні від 2 до 8,6 кН. З конструктивних міркувань привід дуже простий і забезпечує керовані кругові, еліптичні чи напрямлені траєкторії центру мас машини.

Запропонований багаторежимний інерційний привод можна ефективно використовувати як для резонансних, так і для зарезонансних вібраційних конвеєрів і грохотів.

Список літератури

1. Krot P., Zimroz R., Michalak A., Wodecki J., Ogonowski S., Drozda M., Jach M. (2020) Development and Verification of the Diagnostic Model of the Sieving Screen. *Shock and Vibration*, 8015465.
2. Chen B., Yan J., Yin Z., Tamma K. K. (2021) A new study on dynamic adjustment of vibration direction angle for dual-motor-driven vibrating screen. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. Vol. 235(2), 186–196.
3. Jia L., Zhang J., Zhou L., Wen B. (2019) Multifrequency-controlled synchronization of three eccentric rotors driven by induction motors in the same direction. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. Vol. 38(2), 615–632.
4. Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko O. (2017) Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6(1-90), 28–36.
5. Gursky V., Krot P., Korendiy, V., Zimroz, R. (2022) Dynamic Analysis of an Enhanced Multi-Frequency Inertial Exciter for Industrial Vibrating Machines. Vol. 10(2), 130.
6. Gursky V., Kuzio I., Krot P., Zimroz R. (2021) Energy-saving inertial drive for dual-frequency excitation of vibrating machines. *Energies*. Vol. 14(1), 14010071.
7. Yaroshevich N.P., Lanets O.S., Yaroshevych O.M. (2022) Slow Oscillations in Systems with Inertial Vibration Exciters. *Mechanisms and Machine Science*. Vol. 116, 29–42.

SYNTHESIS OF MULTI-FREQUENCY INERTIAL DRIVES OF VIBRATION MACHINES

Volodymyr Gursky, Vitaliy Korendiy, Pavlo Krot, Igor Kuzio

Abstract. The improved design of the multi-frequency inertial drive in the form of twin unbalanced rotor is proposed; this allows for implementing single- and double-frequency operation regimes. Herewith, the circular and elliptical motion trajectories of the technological machine mass center can be provided. The corresponding relationships ensuring these trajectories are established and the problems of their synthesis are defined; the latter considers the rational selection of the static moments of inertia of the unbalanced rotors, their relative phase shift angle, and angular velocities. The dynamic analysis of the single-mass vibratory machine is carried out based on the numerical modeling taking into account the electromechanical characteristics of the asynchronous motor. The starting conditions of the vibratory machine, as well as its kinematic and dynamic characteristics are studied at different relations between the angular velocities of the internal and external unbalanced rotors.

Keywords: vibratory screen; inertial drive; excitation forces; synthesis; oscillations; dynamics.

УДК 621.864.8

Теоретико-експериментальні дослідження руху колісної платформи з кривошипно-шатунним віброударним приводом

Віталій Корендій, Олександр Качур, Володимир Гурський

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Анотація. Мобільні вібраційні системи, в тому числі й колісні вібророботи, знайшли широке застосування у різних сферах промисловості, зокрема для моніторингу та чищення внутрішніх поверхонь трубопроводів. У даній публікації запропоновано загальну ідею створення колісної платформи з кривошипно-шатунним віброударним приводом, що керується електродвигуном постійного струму. Розроблено узагальнену розрахункову схему колісного віброробота, виведено диференціальні рівняння руху мобільної платформи та двох збурювальних мас. Проведено чисельне моделювання основних кінематичних характеристик колісної платформи у програмному продукті Mathematica. Реалізовано імітаційні моделі коливної системи віброробота у програмних продуктах MapleSim та SolidWorks. Проведено відповідні віртуальні експериментальні дослідження руху мобільної вібраційної системи та проаналізовано

збіжність результатів теоретичних досліджень та імітаційного моделювання. Розроблено твердотільну модель та реалізовано дослідний зразок колісної платформи з кривошипно-шатунним віброударним приводом. Запропоновано алгоритм проведення експериментальних досліджень. Обґрунтовано основні напрями подальших досліджень за даною тематикою та перспективи використання отриманих результатів.

Ключові слова: мобільна вібраційна система; віброробот; чисельне моделювання; кінематичні характеристики; імітаційне моделювання; твердотільна модель; дослідний зразок.

Мобільні вібраційні системи знаходять все більшого поширення в різних галузях науки і техніки. Численні дослідження, зокрема [1], [2], присвячені можливостям використання мобільних віброударних капсул для руху в середовищах, що імітують судини людського тіла, органи шлунково-кишкового тракту, підшкірний покрив тощо. У напрямку оптимізації конструктивно-експлуатаційних параметрів вібророботів працюють цілі наукові школи у багатьох країнах світу, серед яких окремо відмітимо праці [3], [4]. Останні, як і сотні схожих публікацій, спрямовані на розв'язання задач багатокритеріального оптимізаційного синтезу мобільних віброударних систем, зокрема з позицій максимізації поступальної швидкості та мінімізації споживаної потужності за різних експлуатаційних умов.

Ще однією перспективною сферою використання мобільних вібраційних систем є моніторинг стану внутрішніх поверхонь трубопроводів. Для цього можуть застосовуватися різноманітні рушії: колісний, гусеничний, крокуючий, стрибаючий тощо. Зважаючи на конструктивну простоту реалізації, саме колісний рушій знайшов найбільшого поширення у вібророботах. Значних наукових здобутків у цій сфері досягнув колектив авторів [5], [6], [7], які досліджували динамічну поведінку колісної платформи з інерційним (дебалансним) приводом. Дані дослідження прийняті за основу для подальшого удосконалення та реалізації віброударних режимів роботи приводу аналогічних мобільних систем.

На початкових етапах досліджень за згаданою вище тематикою було проведено моделювання руху мобільних (ковзаючих) платформ з віброударним приводом [8], [9]. Згодом було прийнято рішення щодо практичної реалізації колісної платформи з кривошипно-шатунним віброударним приводом. Дана ідея спершу була втілена у розрахунковій схемі мобільної вібраційної системи, зображеної на рис. 1 [10]. Обертання спареного (подвійного) кривошипа BAD перетворюється в поступальний рух повзунів C та E . Останні через пружні елементи, що характеризуються жорсткостями k_1 , k_2 , приводять в рух збурювальні маси m_2 , m_3 . Переносний рух колісної платформи (масою m_1) вздовж горизонтальної осі здійснюється за рахунок зміни відносного положення збурювальних тіл (згідно з теоремою про рух центра мас механічної системи та законом збереження руху центра мас). З метою обмеження можливості зворотного руху платформи, у колісному рушії застосовано обгінні муфти, а в цілях максимізації поступальної швидкості – запропоновано використовувати віброударні режими роботи шляхом встановлення обмежувальних пластин підпружинених еластичними елементами з коефіцієнтами жорсткості k_3 , k_4 .

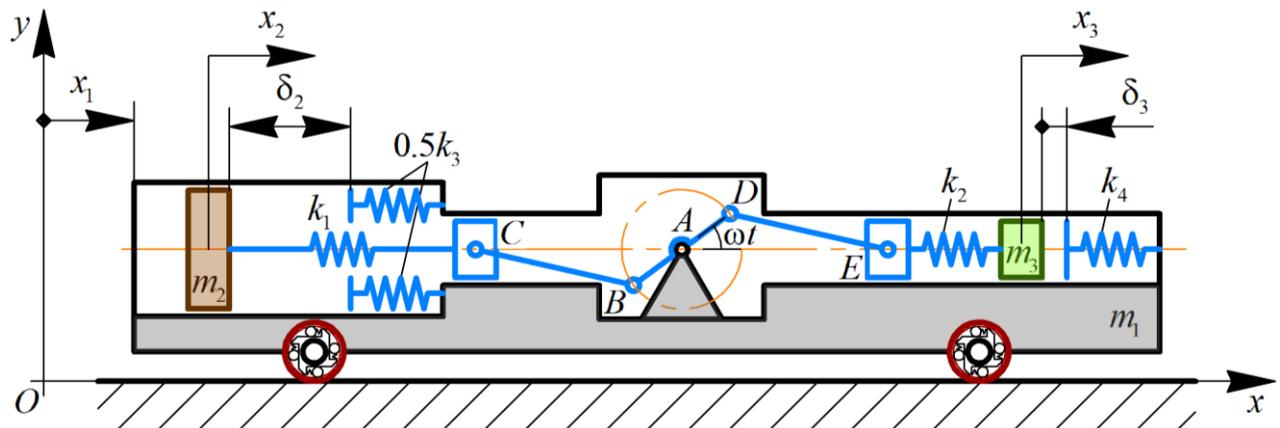


Рис. 1. Розрахункова схема колісної платформи, що приводиться в рух спареним кривошипно-шатунним віброударним приводом

Розглянута колісна платформа характеризується чотирма ступенями вільності, з яких один вважається керованим: горизонтальний рух платформи відносно інерційної системи відліку xOy (узагальнена координата x_1); відносні рухи збурювальних мас m_2, m_3 (узагальнені координати x_2, x_3); кероване обертання кривошипа зі сталою кутовою швидкістю ω . Таким чином, для опису руху системи достатньо використати три диференціальні рівняння [10]:

$$(m_1 + m_2 + m_3)\ddot{x}_1 + (x_C - x_2)k_1 + (x_E - x_3)k_2 + (\delta_2^* - x_2)k_3^* + (\delta_3^* - x_3)k_4^* = F_{br}; \quad (1)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + (x_2 - x_C)k_1 + (x_2 - \delta_2^*)k_3^* = 0; \quad (2)$$

$$m_3\ddot{x}_3 + (x_3 - x_E)k_2 + (x_3 - \delta_3^*)k_4^* = 0, \quad (3)$$

де:

$$x_C = l_{AB} + l_{BC} - l_{AB} \cos(\omega t) - \sqrt{l_{BC}^2 - (l_{AB} \sin(\omega t))^2} \approx l_{AB} - l_{AB} \cos(\omega t); \quad (4)$$

$$x_E = -l_{AD} - l_{DE} + l_{AD} \cos(\omega t) + \sqrt{l_{DE}^2 - (l_{AD} \sin(\omega t))^2} \approx -l_{AD} + l_{AD} \cos(\omega t); \quad (5)$$

$$k_3^* = \begin{cases} k_3, & x_2 \geq \delta_2^*; \\ 0, & x_2 < \delta_2^*; \end{cases} \quad k_4^* = \begin{cases} k_4, & x_3 \geq \delta_3^*; \\ 0, & x_3 < \delta_3^*; \end{cases} \quad \delta_2^* = 2l_{AB} + \delta_2; \quad \delta_3^* = \delta_3; \quad (6)$$

$$F_{br} = \begin{cases} 0, & \text{sign}(\dot{x}_1) \geq 0; \\ (x_C - x_2)k_1 + (x_E - x_3)k_2 + (\delta_2^* - x_2)k_3^* + (\delta_3^* - x_3)k_4^*, & \text{sign}(\dot{x}_1) < 0, \end{cases} \quad (7)$$

$l_{AB}, l_{BC}, l_{AD}, l_{DE}$ – довжини відповідних елементів AB, BC, AD, DE кривошипно-шатунного механізму; ω – кутова швидкість кривошипа BAD ; δ_2, δ_3 – найменші відстані між збурювальними тілами та відповідними ударними пластинами у положенні рівноваги механізму: коли кутове положення кривошипа рівне нулю (для маси m_2) та π (для маси m_3).

З метою проведення подальшого чисельного моделювання та експериментальних досліджень, у програмному продукті SolidWorks було розроблено твердотільну модель мобільної робототехнічної системи для діагностики внутрішніх поверхонь трубопроводів (рис. 2) [11]. Робот складається із колісної платформи 1, рух якої обмежується в одному напрямку за рахунок використання храпових блокувальних механізмів 2. Збурювальна маса 3, рухаючись вздовж двох напрямних, ударяється об гумовий демпфер 4. Відповідний імпульс передається на колісну платформу, надаючи їй руху. Шток (повзун) 5 кривошипно-шатунного механізму приводиться в рух від кривошипа (ексцентрика) 6 та через плоску пружину 7 збурює масу 3. Керування кутовою швидкістю кривошипа здійснюється шляхом зміни частоти обертання вала електродвигуна 8 постійного струму з використанням спеціальної системи керування 9, що живиться від акумуляторних батарей 10. З метою аналізу кінематичних параметрів руху колісного віброробота, на платформі 1 зафіксовано акселерометр 11 з можливістю Wi-Fi приєднання, а для виконання функцій моніторингу зовнішнього середовища використано високошвидкісну відеокамеру 12.

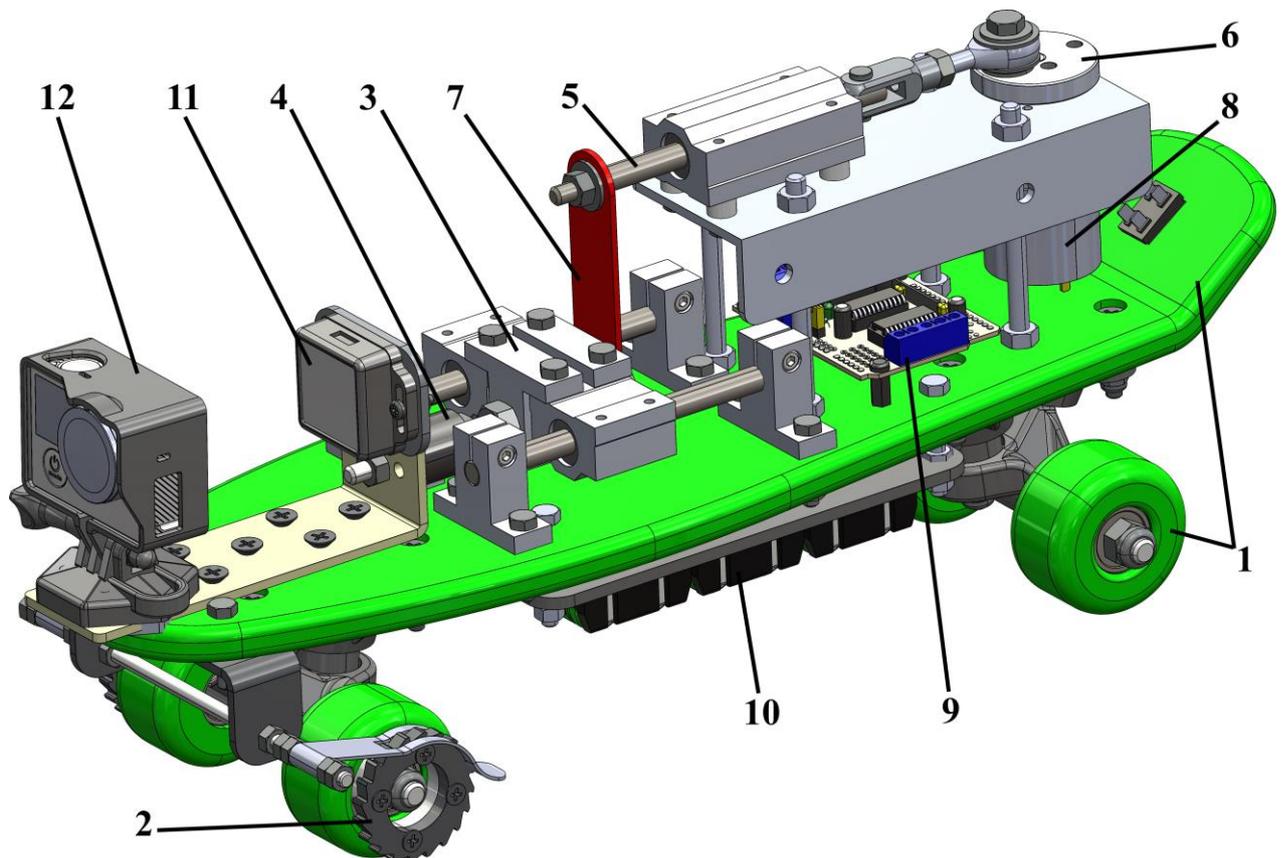


Рис. 2. Твердотільна модель колісної платформи, розроблена у програмному продукті SolidWorks

За результатами твердотільного моделювання були отримані геометричні й інерційні параметри колісної платформи та використано наступні вихідні параметри [11]: $m_1 = 30$ кг; $m_2 = 0$ кг; $m_3 = 3$ кг; $l_{AD} = 0.03$ м, $l_{DE} = 0.08$ м; $l_{AB} = 0$ м, $l_{BC} = 0$ м; $\delta_2 = 0$ м; $\omega = 314$ рад/с; $k_2 = 10^6$ Н/м, $k_4 = 10^8$ Н/м. Параметр найменшого зазору $\delta_3 = 0 \dots 20$ мм прийнято в якості досліджуваного параметра, який впливає на швидкість поступального руху віброробота.

Для аналізу адекватності запропонованої математичної моделі та результатів відповідного чисельного моделювання, проведеного в програмному продукті Mathematica, було вирішено розробити імітаційні моделі коливної системи віброробота у програмних продуктах MapleSim (рис. 3) та SolidWorks (рис. 4) [11]. В обох випадках рухома (ковзаюча) платформа 2 встановлювалася на нерухомій горизонтальній поверхні 1, яка характеризується ідеальним анізотропним тертям (сила тертя в одному напрямку дорівнює нулю, а в іншому – безмежності). Двигун 3 приводить у рух кривошип 4 зі сталою частотою обертання. Шатун 5 передає рух на повзун (шток) 7, камінь 6 якого приєднується до рухомої платформи 2. Через пружний елемент 8 шток 7 збуджує масу 9, яка, контактуючи за ударною пластиною 10, передає свій імпульс на рухома платформу 2 через пружний елемент 11.

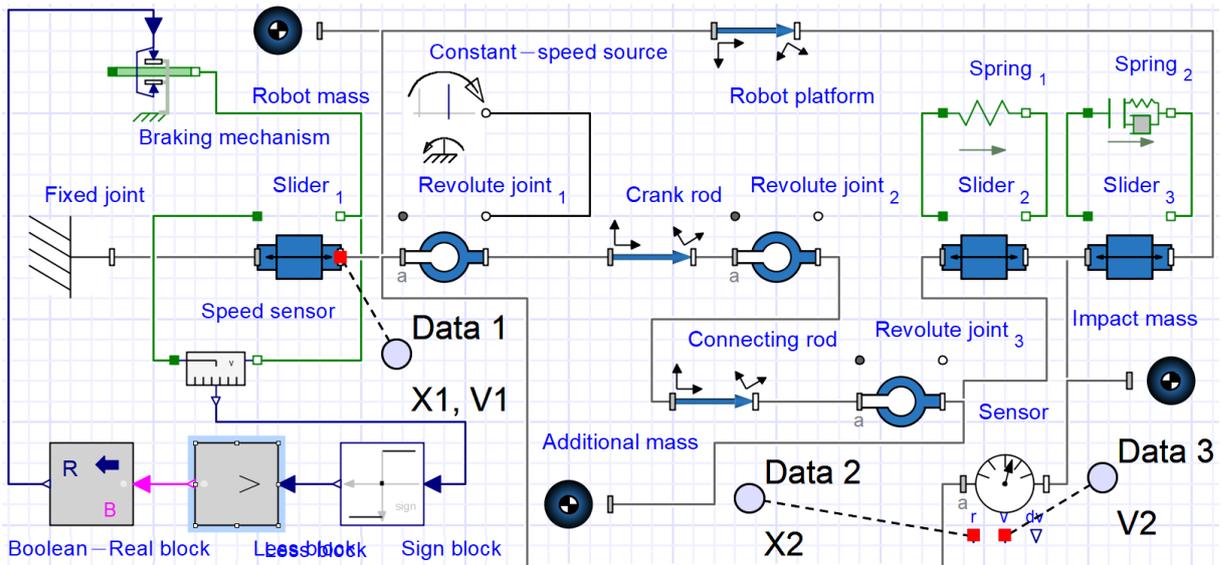


Рис. 3. Імітаційна модель коливної системи віброробота, розроблена у програмному продукті MapleSim

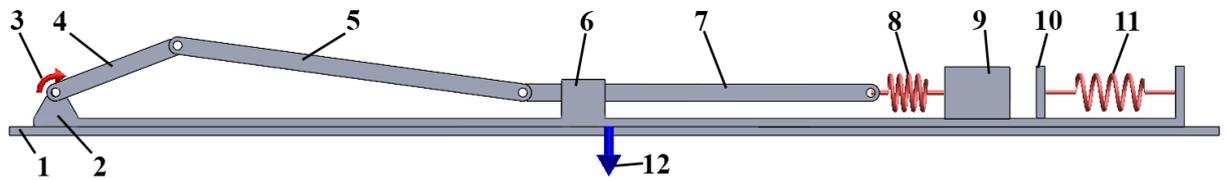


Рис. 4. Імітаційна модель коливної системи віброробота, розроблена у програмному продукті SolidWorks

Зважаючи на задовільну збіжність результатів чисельного та імітаційного моделювання [9], [10], [11], у даній публікації представимо лише дані досліджень із програмного продукту MapleSim при нульовому зазорі $\delta_3 = 0$ мм (рис. 5). За період часу 0,3 с, мобільна платформа переміщається приблизно на 186 мм, тоді як амплітудне значення відносного переміщення збурювального тіла сягає 40 мм. Таким чином, можна констатувати, що середня швидкість руху платформи становить близько 0.6 м/с, тоді як її максимальне значення 2 м/с. Амплітудне значення відносної швидкості збурювального тіла наближено рівне 16 м/с.

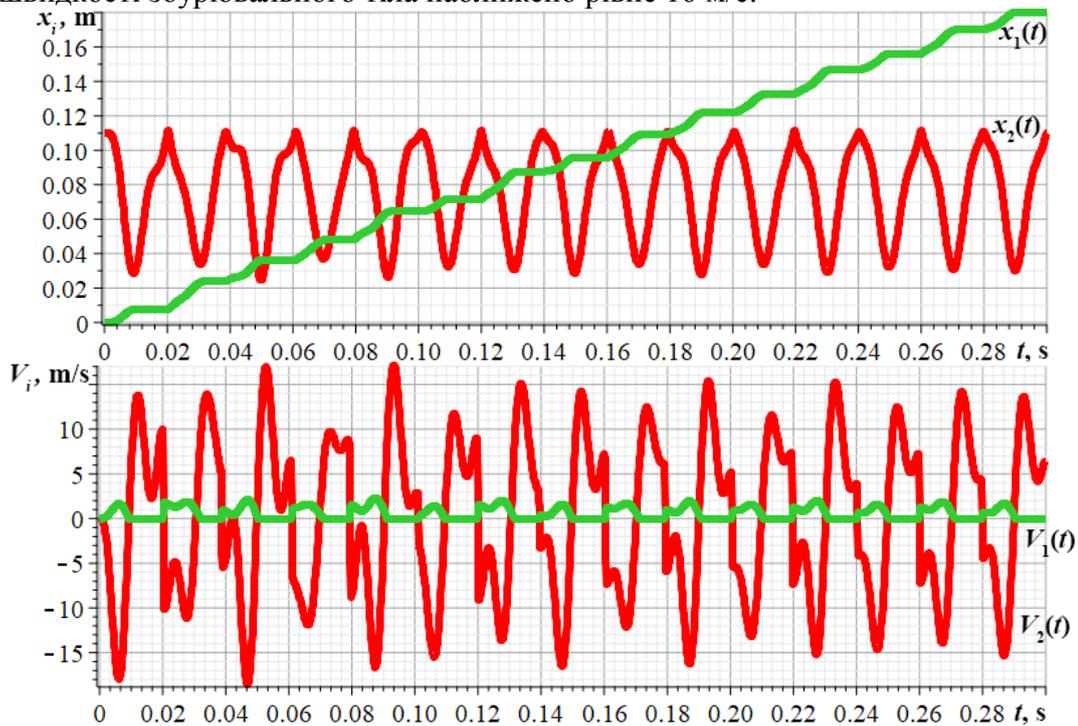


Рис. 5. Результати моделювання кінематичних параметрів руху колісної платформи

З метою аналізу можливостей максимізації середньої швидкості робота, прийємо значення мінімального зазору δ_3 в якості змінного досліджуваного параметра, що впливає на кінематичні та динамічні характеристики віброударної системи робота. У нашому випадку даний зазор характеризує найменшу відстань між збурювальною масою та ударною пластиною, коли кривошипно-шатунний механізм є нерухомим. Попередньо (рис. 5), колигну систему робота досліджували в умовах, коли ударний зазор дорівнював нулю. На рис. 6 представлені залежності переміщення колісної платформи робота x_1 та її середньої швидкості \dot{x}_{1aver} від величини ударного зазору, який змінюється в діапазоні від 0 до 0,02 м [11]. Результати моделювання, отримані в програмних продуктах Mathematica, SolidWorks і MapleSim, показали, що максимальне значення середньої швидкості колісної платформи становить близько 0,7 м/с і має місце в діапазоні ударного зазору 0,01...0,012 м.

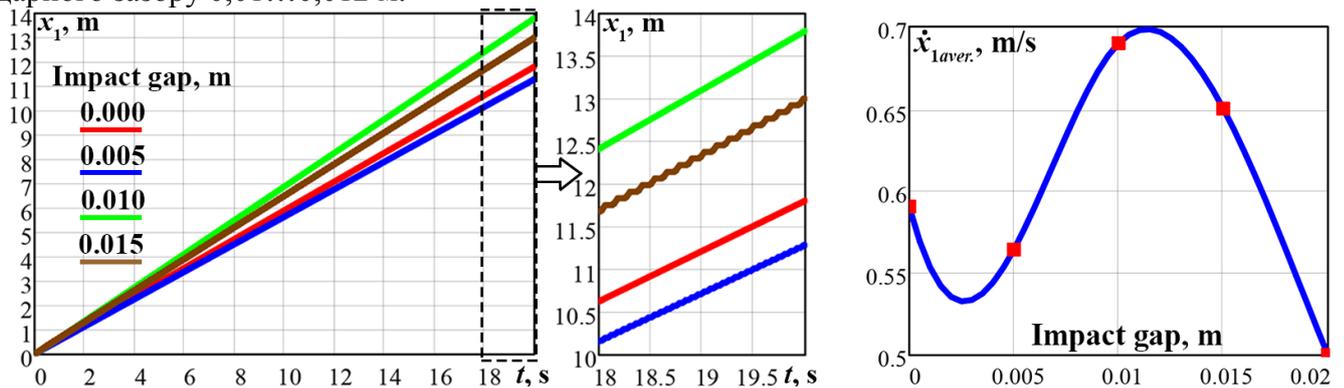


Рис. 6. Результати аналізу впливу ударного зазору на кінематичні параметри колісної платформи

В цілях аналізу адекватності отриманих чисельним та імітаційним моделюванням результатів, було розроблено кілька дослідних зразків колісного віброробота (рис. 7).

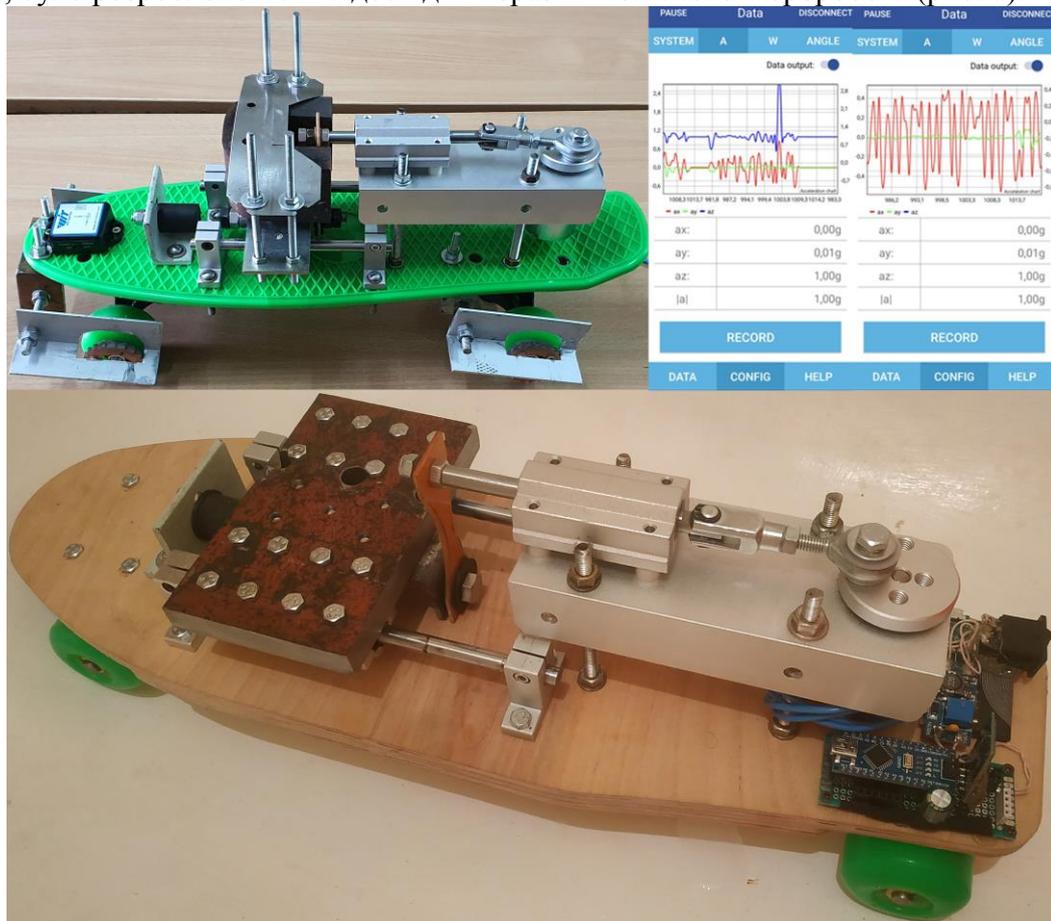


Рис. 7. Дослідні зразки колісних платформ з кривошипно-шатунним віброударним приводом

На даний момент проводяться експериментальні дослідження руху дослідних зразків з використанням акселерометрів фірми WitMotion, за результатами опрацювання даних яких буде встановлено часові залежності горизонтального пришвидшення робота за різних величин ударного зазору. Отримані дані в подальшому будуть оброблені з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення для встановлення миттєвих та середніх швидкостей руху з метою порівняння з результатами, наведеними на рис. 6.

Список літератури

1. Nguyen, K.-T., La, N.-T., Ho, K.-T., Ngo, Q.-H., Chu, N.-H., Nguyen, V.-D. (2021). *The effect of friction on the vibro-impact locomotion system: modeling and dynamic response*. *Meccanica*, 56(8), 2121–2137. <https://doi.org/10.1007/s11012-021-01348-w>
2. Liu, Y., Wiercigroch, M., Pavlovskaja, E., Yu, H. (2013). *Modelling of a vibro-impact capsule system*. *International Journal of Mechanical Sciences*, 66, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2012.09.012>
3. Zhang, Z., Páez Chávez, J., Sieber, J., Liu, Y. (2022). *Controlling coexisting attractors of a class of non-autonomous dynamical systems*. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 431, 133134. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2021.133134>
4. Maolin, L., Yao, Y., Yang, L. (2018). *Optimization of the vibro-impact capsule system for promoting progression speed*. *MATEC Web of Conferences*, 148, 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814810002>
5. Loukanov, I. A., Stoyanov, S. P. (2015). *Experimental determination of dynamic characteristics of a vibration-driven robot*. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(4), 62–73. <https://doi.org/10.9790/1684-12426273>
6. Loukanov, I. A., Vitliemov, V. G., Ivanov, I. V. (2016). *Dynamics of a mobile mechanical system with vibration propulsion (VibroBot)*. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 4(6), 44–51.
7. Loukanov, I. A., Vitliemov, V. G., Ivanov, I. V. (2016). *Dynamics of a vibration-driven one-way moving wheeled robot*. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(3), 14–22. <https://doi.org/10.9790/1684-1303051422>
8. Korendiy, V. (2018). *Dynamics of two-mass mobile vibratory robot with electromagnetic drive and vibro-impact operation mode*. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 4(2), 80–93. <https://doi.org/10.23939/ujmems2018.02.080>
9. Korendiy, V., Gursky, V., Kachur, O., Gurey, V., Havrylchenko, O., Kotsiumbas, O. (2021). *Mathematical modeling of forced oscillations of semidefinite vibro-impact system sliding along rough horizontal surface*. *Vibroengineering Procedia*, 39, 164–169. <https://doi.org/10.21595/vp.2021.22298>
10. Korendiy, V., Gursky, V., Kachur, O., Dmyterko, P., Kotsiumbas, O., & Havrylchenko, O. (2022). *Mathematical model and motion analysis of a wheeled vibro-impact locomotion system*. *Vibroengineering Procedia*, 41, 77–83. <https://doi.org/10.21595/vp.2022.22422>
11. Korendiy, V., Kachur, O., Gursky, V., Kotsiumbas, O., Dmyterko, P., Nikipchuk, S., Danylo, Y. (2022). *Motion simulation and impact gap verification of a wheeled vibration-driven robot for pipelines inspection*. *Vibroengineering Procedia*, 41, 1–6. <https://doi.org/10.21595/vp.2022.22521>

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF MOTION OF A WHEELED PLATFORM WITH CRANK-TYPE VIBRO-IMPACT DRIVE

Vitaliy Korendiy, Oleksandr Kachur, Volodymyr Gursky

Abstract. Mobile vibratory systems, including wheeled vibro-robots, have been widely used in various industries, in particular, for monitoring and cleaning the inner surfaces of pipelines. This publication proposes a general idea of developing a wheeled platform with a crank-type vibro-impact drive actuated by a DC motor. The generalized calculation diagram of the wheeled vibratory robot is developed; the differential equations of motion of the mobile platform and two disturbing masses are derived. Numerical modeling of the main kinematic characteristics of the wheeled platform is carried out in the Mathematica software. Simulation models of the vibro-robot's oscillatory system are implemented in MapleSim and SolidWorks software. The corresponding virtual experimental investigations on the mobile vibratory system motion are carried out, and the agreement of the results of theoretical research and simulation modeling is analyzed. A solid model of the wheeled platform with the crank-type vibrato-impact drive is developed and its experimental prototype is implemented. An algorithm for conducting experimental investigations is proposed. The main directions of further research on this subject and prospects for the use of the obtained results are substantiated.

Keywords: mobile vibratory system; vibro-robot; numerical modeling; kinematic characteristics; simulation; solid model; experimental prototype.

УДК 622.24

Модернізація обладнання блоку очистки промивальної рідини

Петро Молчанов, Тетяна Суржко, Максим Книш

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.

***Анотація.** Вібраційне сито являється одним із головних механізмів всієї бурової установки. Воно повинно працювати надійно і безвідмовно. Очищення здійснюється шляхом дії вібрації на буровий розчин, в результаті якої відокремлюються різні фракції вибурених гірських порід. Недоліками в роботі вібраційного сита є обмежена технологічність і недостатня ефективність очищення обважнених бурових розчинів через неможливість застосування сіток з дрібними чарунками. Технічним результатом пропонованої модернізації є усунення відмічених недоліків і підвищення на цій основі техніко-економічних показників бурового комплексу.*

***Ключові слова:** буровий розчин; вібросито; модернізація конструкції; вібратор; дебаланс; коливання.*

Проведений аналіз залежностей пропускної здатності вібросит показав, що вона сильно зменшується зі зменшенням розміру комірки сітки, а при однакових властивостях бурового розчину і шламу суттєво збільшується при збільшенні амплітудного значення віброприскорення рами і висоти шару розчину на сітці. Також встановлена відсутність залежності пропускної здатності від частоти при віброколиваннях більше 20 Гц.

Ступінь якості очищення промивальної рідини напряму залежить від часу її перебування на поверхні сітки вібросита. Основним недоліком вібраційного сита базової конструкції є обмежена технологічність і недостатня ефективність очищення обважнених бурових розчинів через неможливість застосування сіток з дрібними чарунками.

Задачею модернізації є розширення технологічних можливостей і підвищення ефективності очищення обважнених бурових розчинів за рахунок одночасної дії на них вібраційними хвилями низьких і високих частот.

Зазначена мета досягається тим, що вібросито обладнане вібратором, який виконаний у вигляді двох незалежних ступенів з приводом від одного електродвигуна для генерації двохчастотних коливань віброрами, електродвигун обладнаний блоком шківів різних діаметрів з можливістю їх зміни, при цьому ступені вібратора генерують вібраційні хвилі низьких і високих частот, а комбінування частот коливання віброрами досягається зміною діаметрів привідних шківів вібратора.

Модернізоване вібросито (рис. 1) складається з нерухомої основи (рами) 1 з вмонтованою ванною, рухомої віброрами 2 з вібратором 3 і двома ярусами сіткових касет 4. Віброрама 2 за допомогою гумових амортизаторів 5 через трубчаті опори з'єднується з нерухомою рамою 1.

Привод вібратора 3 здійснюється електродвигуном 6, встановленим на живильнику 7, за допомогою пасової передачі 8, яка включає двоступінчатий шків 9 електродвигуна 6, що виконаний у вигляді блоку шківів різного діаметру, які зв'язані через пасові передачі з шківом високочастотного 10 і низькочастотного 11 ступеней вібратора 3.

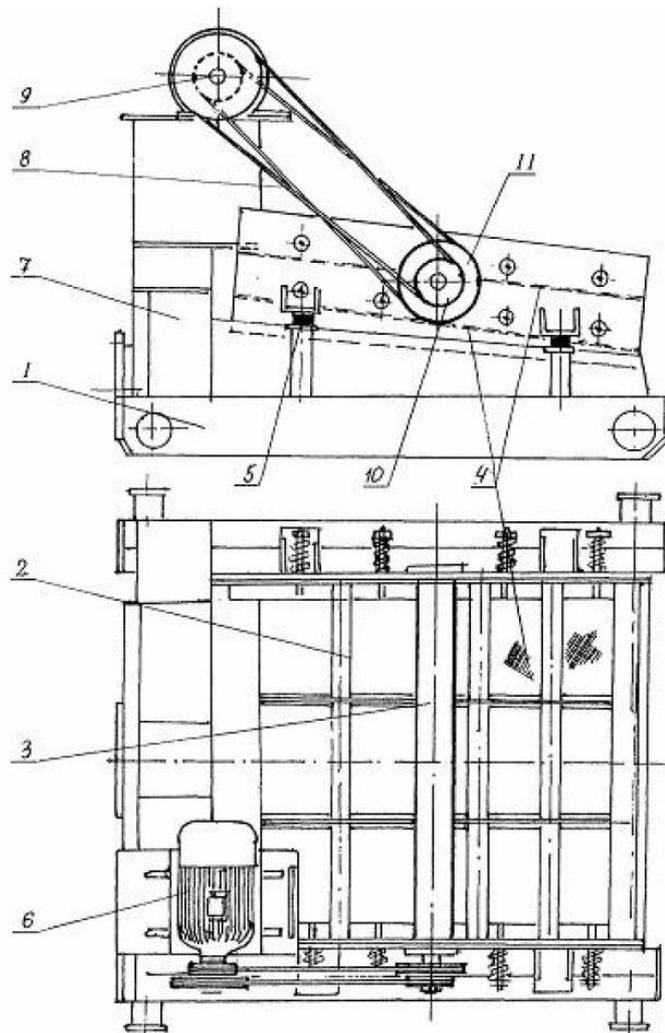


Рис.1. Модернізоване вібрисито

Вібратор виконаний у вигляді трубчатого корпусу, в якому розташований пустотілий ексцентриковий вал з дебалансною масою. На пустотілий ексцентриковий вал одягнений кульковий підшипник, встановлений в корпусі і закритий кришкою. На кінці пустотілого ексцентрикового валу одягнений шків. Сальник встановлений в середині пустотілого ексцентрикового валу.

В середині пустотілого ексцентрикового валу на підшипниках встановлений ексцентриковий вібривал. Один кінець валу входить в підшипник, який встановлений в кришці вібратора. Другий кінець ексцентрикового вібривалу проходить вільно через корпус пустотілого ексцентрикового валу і закінчується шківом.

Модернізоване вібрисито для очищення бурового розчину працює наступним чином.

Буровий розчин поступає в живильник і через отвір в ньому поступає на поверхні сіткових касет. При великій кількості бурового розчину останній поступає одночасно на обидва яруси сіткових касет. Для більш якісного очищення бурового розчину сіткові касети можуть працювати послідовно - з верхньої розчин витікає на нижню і тільки після того в ванну.

Буровий розчин під комбінованою дією вібрацій поверхонь сіткових касет, які виникають за рахунок роботи вібратора, який одночасно генерує коливання низьких і високих частот, фільтрується через поверхні сіткових касет, а шлам транспортується в відвал.

Одночасна генерація двох видів коливань вібратором здійснюється наступним чином.

Кутовий момент від електродвигуна через двохступінчатий шків за допомогою пасової передачі передається на шків і вібратор. При цьому ступінь шківа малого діаметра зв'язана пасом з шківом вібратора з великого діаметра, а ступінь шківа великого діаметра пасом з'єднана з

шківом малого діаметра вібратора. Таким чином забезпечується незалежна робота двох ступенів вібратора від одного приводу електродвигуна.

При цьому вібратор, якому забезпечує обертання малий шків, генерує високочастотні коливання віброрами. Привід від шківа забезпечує генерацію віброрами на низьких частотах.

Низькочастотні коливання віброрами забезпечують інтенсивне транспортування шламу у відвал. Високочастотні – змінюють реологічні властивості бурового розчину (знижують в'язкість) і сприяють більш інтенсивній фільтрації через поверхні сіткових касет.

Перевагою запропонованої конструкції вібратора для очищення бурового розчину є те, що змінюючи діаметри шківів, можна отримати різну комбінацію частот коливання віброрами.

Суть технічного рішення з модернізації вібраційного сита полягає в тому, що порівняно з аналогом у модернізованому вібраторі з метою підвищення ефективності очищення обважнених бурових розчинів вібратор виконаний у вигляді двох незалежних ступенів з приводом від одного електродвигуна для генерації двочастотних коливань віброрами, при цьому електродвигун обладнаний блоком змінних шківів різних діаметрів. При використанні запропонованого вдосконалення значно підвищується якість і ефективність очищення бурових розчинів, розширюються технологічні можливості його застосування для очищення обважнених бурових розчинів.

Список літератури

1. Войтенко В.С. *Технологія і техніка буріння: узагальнююча довідникова книга*. – Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.
2. Коцкучич Я.С. *Закінчування свердловин: підручник для студентів вищ. навч. закладів проф. спрямування "Буріння" / Я.С. Коцкучич, О.В. Тищенко*. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 366 с.
3. Копей Б.В. *Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання*. ІФДТУНГ, 2001 – 224 с.
4. Костриба І.В. *Основи конструювання нафтогазового обладнання: Навч. Посібник*. – Івано-Франківськ: Факел, 2007 – 256 с.

MODERNIZATION OF EQUIPMENT OF WASHING FLUID CLEANING UNIT

Petro Molchanov, Surzhko Tetiana, Maksym Knysh

Abstract. *The vibrating sieve is one of the main mechanisms of the entire drilling rig. It must work reliably and without failure. Cleaning is carried out by the action of vibration on the drilling fluid, as a result of which different fractions of drilled rocks are separated. The disadvantages of the vibrating sieve are limited manufacturability and insufficient efficiency of cleaning of weighted drilling fluids due to the impossibility of using grids with small cells. The technical result of the proposed modernization is to eliminate the identified shortcomings and increase on this basis the technical and economic performance of the drilling complex.*

Keywords: *drilling mud; vibrating screen; construction modernization; vibrator; imbalance; fluctuation.*

УДК 622.24

Покращення характеристик бурових насосів

Василь Савик, Юрій Ілляшенко, Максим Книш

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна.

Анотація. *Запропонована конструкція клапана видозміненої форми посадочних поверхонь. Посадочне гніздо сідла виконано у формі конуса, що переходить в циліндр. Таке конструктивне рішення забезпечує найменше зношення сідла і тарілки за рахунок зменшення висоти конусності. Форма тарілки виконана у вигляді конічного диска і при посадці впирається на циліндричну поверхню, що дозволяє пом'якшити посадку і забезпечує зменшення удару. Кільце ущільнювача знімне, круглого перерізу. Втулка має можливість переміщатися в осьовому напрямку щодо обмежувача. Обмежувач забезпечений упорною гайкою. Встановлено переваги модернізованої конструкції клапана бурового насоса, які полягають у тому, що запропонований вид ущільнення клапанної групи дозволяє забезпечити взаємозамінність, заощадити витрати матеріалів і підвищити техніко-економічні показники бурового насоса.*

Ключові слова: бурова установка; буровий насос; модернізація конструкції; клапанна група бурового насоса.

Буровий насос є одним з найвідповідальніших елементів технологічного комплексу для буріння свердловин. Такі насоси встановлюються на крупноблокові основи, що суттєво полегшує та оптимізує проведення монтажних-демонтажних робіт. Однак, такі конструкції являють собою досить складну та суттєво насичену технологічним обладнанням конструкцію.

Надійна, безвідмовна та довговічна робота бурових насосів визначає ефективність функціонування усього комплексу обладнання бурової установки під час буріння свердловини, так як для нагнітання потрібної кількості рідини необхідно створювати стабільну та рівномірну подачу рідини.

Під час здійснення роботи бурового комплексу виникають ситуації, коли існує необхідність періодичної зупинки циркуляційної системи, до складу якої входить буровий насос.

Одним з головних завдань виробників є створення таких моделей, котрі відрізняються стабільною та надійною роботою під час експлуатації. При цьому, головними вимогами, які висуваються до них, є достатній міжремонтний цикл і легкість в обслуговуванні та ремонті.

Останніми роками було проведено значну роботу з модернізації конструкцій та підвищення надійності елементів гідравлічної частини таких насосів. Це дозволило довести міжремонтний термін гідравлічної частини до показника 1200 годин. Проте, практичний досвід показує, що деякі вузли бурового насоса потребують роботи з подальшої модернізації конструкції.

Одним із таких вузлів є клапани бурового насоса. Впровадження нової конструкції всмоктувальних і нагнітальних клапанів бурового насоса дасть змогу збільшити комерційну швидкість буріння, що сприятиме зростанню продуктивності праці за варіантом модернізації.

Працездатність бурових поршневих насосів в основному визначають змінні деталі гідравлічної частини: поршні, циліндрові втулки, клапани, ущільнення. Забезпечення необхідної довговічності вузлів і деталей гідравлічної частини є однією з основних задач при проектуванні насосів. Згідно з нормативними вимогами, вдосконалення конструкції і ефективність функціонування бурових насосів в основному зводиться до обмеження механічних і гідравлічних втрат в насосі. Тому подальші дослідження в напрямку пошуку нових конструкторських і технологічних рішень, спрямованих на збільшення ресурсу клапанів, представляються перспективними і актуальними, що дозволить підвищити техніко-економічні показники роботи бурових насосів і процесу буріння в цілому.

Довговічність клапанів в цілому визначається ресурсом елемента ущільнювача. Існуючі конструкції не задовольняють вимоги буріння внаслідок наявних недоліків в з'єднаннях ущільнюючих пристроїв, які призводять до втрати герметичності, ударної роботи клапана і до повного виходу з ладу вузла. У зв'язку із цим, пропонується модернізована конструктивна схема клапана бурового насоса (рис. 1). Клапан складається з сідла 1, тарілки 2, кільця ущільнювача 3, притискної втулки 4, упорної гайки 5, хрестовини 6. Тарілка клапана забезпечена хвостовиком 7 і обмежувачем підйому 8.

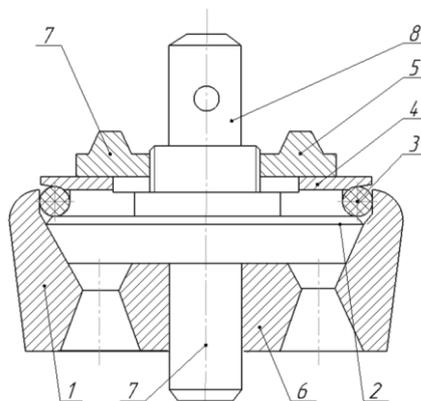


Рис.1. Конструктивна схема модернізованої клапанної групи бурового насоса:

1 – сідло; 2 – тарілка; 3 – кільце ущільнювача; 4 – притискна втулка; 5 – упорна гайка; 6 – хрестовина; 7 – хвостовик; 8 – обмежувач підйому

Дана конструкція клапана працює наступним чином. При роботі клапанного вузла сідло клапана зношується менше (кільце ущільнювача встановлено на тарілці клапана), т. як сідло піддається ковзаючому впливу струменя розчину, а тарілка, додатково, ударним впливам. Клапан відкривається під дією протікаючого через нього бурового розчину, закривається під дією натягу пружини і навантаження, яке передається від ваги тарілки і пружини.

Видозмінена форма посадочних поверхонь тарелі, сідла і елементу ущільнювача (рис. 1 – 3). Посадочне гніздо сідла в формі конуса, що переходить в циліндр. Таке конструктивне рішення забезпечує найменший знос сідла і тарілки, тому що зменшена висота конусності сідла. Тарілка має форму конічного диска і при посадці впирається на циліндричну поверхню, що створює при цьому м'яку посадку, тобто ударної дії не відбувається. Кільце ущільнювача знімне, круглого перерізу. Втулка має можливість переміщатися в осьовому напрямку щодо обмежувача. Обмежувач забезпечений упорною гайкою.

Суттєвою відмінністю модернізованої конструкції є те, що представлена форма елемента ущільнювача забезпечує поліпшену посадку і подвійну герметизацію за рахунок тиску притискної втулки.



Рис.2. Конструкція модернізованої клапанної групи бурового насоса



Рис.3. Модернізована клапанна група бурового насоса у розібраному вигляді

Дані зміни в конструкції дозволяють забезпечити поліпшену герметизацію за рахунок ущільнювального кільця і за рахунок дії тиску притискної втулки, та швидке збирання й розбирання. Зазначене конструктивне рішення забезпечує підвищення ефективності роботи бурових насосів за рахунок довговічності клапанного вузла.

Перевагами модернізованої конструкції клапана бурового насоса є те, що даний вид ущільнення клапанної групи дозволяє забезпечити взаємозамінність, заощадити витрати матеріалів і підвищити техніко-економічні показники бурового насоса.

Список літератури

1. Бойко В. С. Довідник з нафтогазової справи / Бойко В.С., Кондрат Р.М., Яремійчук Р.С. – Львів: Світ, 1996. – 620 с.
2. Копей Б.В. Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання. ІФДТУНГ, 2001 – 224 с.
3. Костриба І.В. Основи конструювання нафтогазового обладнання: Навч. Посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2007 – 256 с.

IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF DRILLING PUMPS

Vasyl Savyk, Yuri Ilyashenko, Maksym Knysh

Abstract. *There has been offered the valve design of changed form for landing surfaces. The saddle seat is made in the form of cone that turns into the cylinder. This design solution provides the least wearing-out of saddle and plate by reducing the obliquity height. The plate shape is made in the form of conical disk and while landing it faces the cylindrical surface, which softens the landing and reduces the hit impact. The sealing ring is removable and of round cutting. The sleeve has the ability to move in the axial direction relatively to the limiter. The limiter is provided with a thrust nut. There have been established the advantages of the modernized valve design for the drilling pump, which mean that the proposed sealing type of valve group allows ensuring interchangeability, saving material costs and increasing the technical and economic performance for the drilling pump.*

Keywords: *the drilling set; the drilling pump; the construction modernization; the valve group of drilling pump.*

УДК 621.807.212.7

Дослідження щодо створення кінцевої станції стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування

Олександр Гаврюков

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Краматорськ, Україна.

Анотація. *При будівництві тунелів застосовують стрічкові конвеєри для видачі гірничої маси з забою. Швидкість проведення тунелю можна було би збільшити застосувавши стрічковий конвеєр працюючий при змінній довжині транспортування. Наявність телескопічного пристрою з системою автоматичного контролю натягнення стрічки дозволяє подовжувати конвеєр під час його роботи.*

Використання стрічковим конвеєром зі змінною довжиною транспортування, в порівнянні з існуючою дозволяє: збільшити машинний час прохідницького комбайна за рахунок скорочення технологічних операцій пов'язаних з подовженням конвеєра, виключити з транспортного ланцюжка перевантажувачі. Між тим під час зміни довжини транспортування стрічкового конвеєра можливе порушення перпендикулярності осі стрічки відносно осі кінцевого барабана, а це провокує на ньому боковий схід стрічки. Розробка математичної моделі перехідного процесу бокового сходу стрічки на барабані з незначною криволінійністю дозволяє спроектувати систему автоматичного центрування стрічки на барабані з криволінійною твірною з оптимальними параметрами. Встановлено, що дотичне навантаження взаємодії стрічки з барабаном в поперечному напрямі за відсутності прослизання пропорційне зміщенню стрічки. В роботі, для практично важливого випадку, наведена залежність швидкості бокового сходу стрічки на барабані з твірною у вигляді параболі. Перехідний процес сходу стрічки на криволінійному барабані, з урахуванням поперечної деформацію стрічки уздовж осі конвеєра під час розвороту барабана відповідає аперіодичній ланці першого порядку. Наведена конструктивна схема запатентованої кінцевої станції для якої була розроблена система автоматичного центрування стрічки на барабані. Для системи автоматичного регулювання стрічки встановлені оптимальні параметри які забезпечують якісну і стійку роботу центрування.

Ключові слова: *будівництво тунелів; конвеєр зі змінною довжиною транспортування; боковий схід стрічки; барабан з криволінійною твірною; система автоматичного центрування стрічки; оптимальні параметри; запатентована і спроектована кінцева станція*

При будівництві тунелів доволі часто застосовують стрічкові конвеєри для видачі гірничої маси з забою. На основі аналізу роботи транспортної установки що використовувались при проведенні найдовшого в світі Готардського базисного тунелю встановлено, що швидкість проведення тунелю можна було би збільшити застосувавши стрічковий конвеєр працюючий при змінній довжині транспортування [1]. Наявність телескопічного пристрою з системою автоматичного контролю натягнення стрічки дозволяє подовжувати конвеєр під час його роботи [2, 3].

Використання конвеєра зі змінною довжиною транспортування в технологічній схемі рис.1,а, в порівнянні з існуючою рис.1,б, дозволяє: збільшити машинний час прохідницького комбайна за рахунок скорочення технологічних операцій пов'язаних з подовженням конвеєра, виключити перевантажувачі [2, 3].

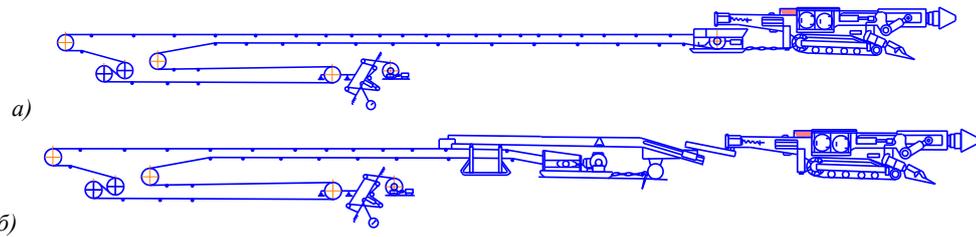


Рис. 1. Технологічні схеми робочого процесу будівництва тунелю з застосуванням стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування (а) і традиційним методом (б)

Між тим під час зміни довжини транспортування стрічкового конвеєра можливе порушення перпендикулярності осі стрічки відносно осі кінцевого барабана.

Відомо, що при порушенні перпендикулярності осі набігаючої стрічки відносно осі барабана відбувається боковий схід стрічки [3], що приводить до серйозних аварій. Також відомо, що боковий схід стрічки буде менше, якщо барабан має криволінійну твірну [5].

Розробка математичної моделі перехідного процесу бокового сходу стрічки на барабані з незначною криволінійністю дозволяє спроектувати систему автоматичного центрування стрічки на барабані яка мала би оптимальні параметри.

Встановлено, що нормальний тиск за відсутності прослизань не впливає на дотичне навантаження взаємодії стрічки з барабаном $\tau_{бар.-с}$ під час його розвороту, при цьому дотичне навантаження взаємодії стрічки з барабаном в поперечному напрямі за відсутності прослизання $Q_{бар.-с}$ пропорційне зміщенню Δ_l стрічки [3]:

$$Q_{бар.-с} = -\tau_{бар.-с} \cdot \Delta_l, \text{ Н/м.} \quad (1)$$

Також встановлено, що швидкість бокового сходу стрічки на барабані з криволінійною твірною у вигляді параболі, для практично важливого випадку при довжині контакту $l_K > 20 \div 30$ см стрічки з барабаном, в параметричній системі координат визначається з залежності [3]:

$$V_{б.сх}'' = -V_c \cdot \gamma_1 / K_{кривол.}^{параб.}, \text{ м/с,} \quad (2)$$

де V_c - швидкість ходу стрічки, м/с; γ_1 - кут набігання стрічки на криволінійний барабан;

$K_{кривол.}^{параб.} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{L_{бар.}^2}{4p_{параб.}^2}} - 1 \right) + \frac{1}{L_{бар.}} \ln \left(\frac{L_{бар.} + \sqrt{4p_{параб.}^2 + L_{бар.}^2}}{L_{бар.} + 2p_{параб.}} \right)$ - коефіцієнт криволінійності барабана

з твірною у вигляді еліпса; $p_{параб.}$ - параметр параболі (відстань від фокусу до директриси параболі), м; $L_{бар.}$ - довжина барабану.

Перехідний процес сходу стрічки на барабані слід розглядати з урахуванням закономірностей її руху на барабані і закономірностей поперечної деформації стрічки, що набігає на барабан (рис.2) [3].

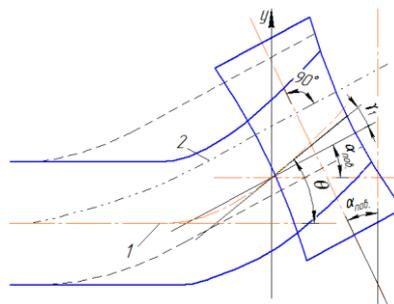


Рис. 2. Схема поперечного зміщення стрічки на барабані: 1 - положення стрічки в перехідному режимі; 2 - положення стрічки в стаціонарному режимі

Встановлено, що залежність яка описує перехідний процес сходу стрічки на криволінійному барабані, з урахуванням поперечної деформації стрічки уздовж осі конвеєра під час розвороту барабана відповідає аперіодичній ланці першого порядку [3]:

$$(T_0^{нараб.} \lambda + 1) y = K_0 \alpha_{нов.} \quad (3)$$

де $T_0^{нараб.} = S_c (K_{кривол.}^{нараб.} + 1) / (q_c \cdot g \cdot c_{м.к.} \cdot V_c)$ - постійна часу об'єкту регулювання (стрічки), с;
 $K_o = S_c / (q_c \cdot g \cdot c_{м.к.})$ - коефіцієнт передачі по куту повороту барабана, м; q_c - погонна маса стрічки, кг/м; $c_{м.к.}$ - тангенс кута нахилу лінійної частини графіка залежності коефіцієнта тертя від ковзання; $\alpha_{нов.}$ - кут між віссю стрічки, що набігає на барабан і подовжньою віссю стрічки уздовж конвеєра; g - прискорення вільного падіння м/с²; S_c - натягнення стрічки в точці набігання на барабан, Н.

Після виконання конструкторських досліджень була запатентована і спроектована кінцева станція з системою автоматичного регулювання стрічки на барабані (рис.3) [6]. На рисунку 4 наведена принципова схема системи автоматичного центрування стрічки на барабані.

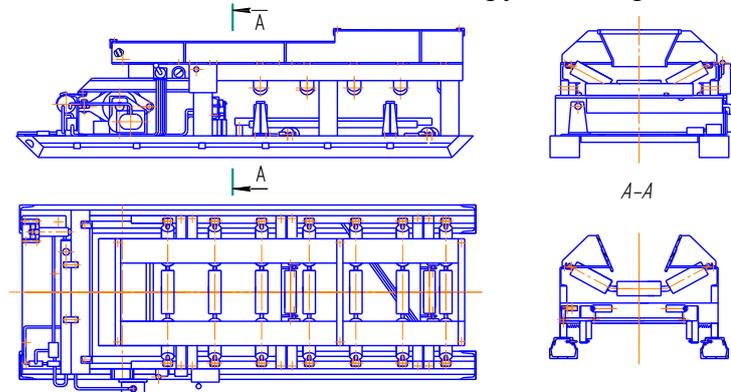


Рис. 3. Загальний вигляд кінцевої станції з системою оперативного і автоматичного регулювання стрічки на барабані

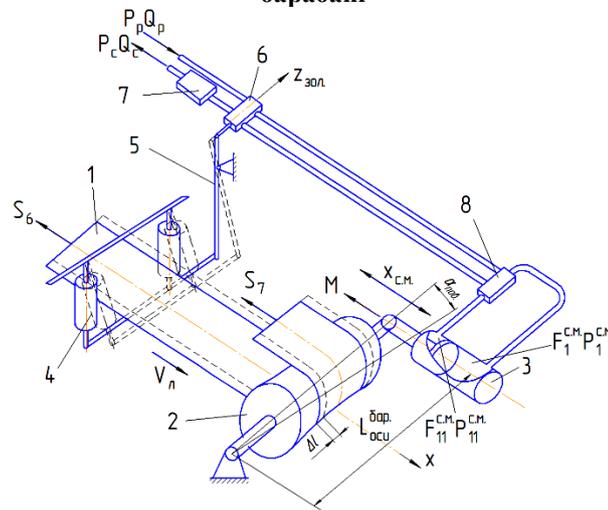


Рис. 4. Принципова схема системи автоматичного центрування стрічки на барабані: 1 - стрічка, 2 - барабан, 3 - гідроциліндр, 4 - датчики положення стрічки, 5 - важільна система, 6 - трипозиційний золотниковий розподільник, 7 - регулювальник потоку, 8 - гідрозамок.

Встановлено, що для забезпечення задовільної якості регулювання (загасання перехідного процесу за 1 період ($\eta_{загас.} = 90\%$) параметри системи повинні задовольняти умові [3]:

$$K_{сист.} \leq 3,2 / T_0^{нараб.} \quad (4)$$

де $K_{сист.} = K_0 \cdot K_1 K_2 / T_{с.м.}$ - коефіцієнт посилення розімкненої системи регулювання, с⁻¹; K_1 - коефіцієнт передачі поступальної ходи штока поршня сервомотора в кут повороту барабана; K_2 - коефіцієнт передачі важільної системи 5; $T_{с.м.}$ - постійна часу сервомотора.

Враховуючі параметри системи необхідна витрата масла в гідросистемі (рис. 6), при якій забезпечується якісна і стійка робота системи стабілізації стрічки на барабані визначається залежністю [3]:

$$Q_{c.m.} \leq \frac{1,6\Delta z_{зол.} L_{оси}^{бар} V_c}{K_2} \left[\frac{q_c \cdot c_{т.к.}}{S_c (K_{кривол.}^{параб.} + 1)} \right]^2 \left[\frac{(F_1)^3 + (F_{11})^3}{F_1 + F_{11}} \right]^{1/2} \text{ м}^3/\text{с} \quad (5)$$

де F_1 - площа поршня сервомотора, м^2 ; F_{11} - площа поршня без площі штока сервомотора, м^2 ; $\Delta z_{зол.}$ - величина відкриття золотникових вікон розподільника 6.

Остання залежність дозволяє визначитись з маслонуасосом встановленим на кінцевій станції конвеєра.

Список літератури

1. Gavryukov O.V. Use of tubular belt conveyor operating with changeable length of transportation for conduct of tunnels. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, 151-155. e-ISSN 2663-1342, p-ISSN 2663-1334, DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.151-155.
2. Гаврюков А.В. Энергоэффективность на конвейерном транспорте. Снижение энергоёмкости рабочих процессов. / Гаврюков А.В., Третьяк А.В. – Энергосбережение. – 2012 – № 9 (155) - С. 16-18.
3. Гаврюков О.В. Развитие теории трубчатых стрічковых конвеєрів: монографія / Гаврюков О.В. – Краматорськ: ДонНАБА, 2017. – 279с.
4. Биличенко Н.Я. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров. / Н.Я. Биличенко, Е.М. Высочин, Е.Х. Завгородний. - Киев: Госгортехиздат УССР, - 1964. - 263 с.
5. Щеглов О.М. О некоторых проблемах центрирования ленты ленточного конвейера / О.М. Щеглов, В.В. Суглобов. - *Захист металургійних машин від поломок: зб. Наукових праць ПДТУ. - Маріуполь, 2011. - Вип. 13. - С. 50-58*
6. Патент України на винахід №98378 МПК (2012) E21F 13/08 B65G 41/00. Кінцева станція стрічкового конвеєра. Гаврюков О.В., Семенченко А.К., Кононихін Г.А, Трет'як А.В. – № а 2010 10979; заявл. 13.09.10., опубл. 10.05.12. Бюл. № 9. (Україна). – 9с.

RESEARCH ON THE ESTABLISHMENT OF THE END STATION OF A VARIABLE CONVEYOR WITH VARIABLE TRANSPORT LENGTH

Olexandr Gavryukov

Abstract. In the construction of tunnels, belt conveyors are used to dispense rock mass from the face. The speed of the tunnel could be increased by using a belt conveyor operating at variable transport lengths. The presence of a telescopic device with an automatic belt tension control system allows you to extend the conveyor during its operation. The use of a belt conveyor with a variable length of transportation, in comparison with the existing one allows: to increase the machine time of the tunnel combine by reducing technological operations related to the extension of the conveyor, to exclude reloaders from the transport chain. Meanwhile, when changing the length of the conveyor belt conveyor may violate the perpendicularity of the belt axis relative to the axis of the end drum, and this provokes the lateral rise of the belt. The development of a mathematical model of the transition process of the lateral rise of the tape on the drum with a slight curvature allows you to design a system of automatic centering of the tape on the drum with a curvilinear generator with optimal parameters. It is established that the tangential load of the interaction of the tape with the drum in the transverse direction in the absence of slippage is proportional to the displacement of the tape. In the work, for a practically important case, the dependence of the speed of lateral rise of the tape on the drum with the generator in the form of a parabola. The transient process of belt descent on a curved drum, taking into account the transverse deformation of the tape along the axis of the conveyor during the rotation of the drum corresponds to the aperiodic link of the first order. The constructive scheme of the patented end station for which the system of automatic centering of a tape on a drum has been developed is resulted. For the system of automatic adjustment of a tape optimum parameters which provide qualitative and steady work of centering are established.

Keywords: construction of tunnels; conveyor with variable length of transportation; side rise of the tape; drum with a curvilinear generator; automatic tape centering system; optimal parameters; patented and designed terminal station.

УДК 621.9.048.6

Динаміка вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора**Микола Ярошевич, Тетяна Ярошевич, Віктор Тимошук**

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.

***Анотація.** Розглядаються стаціонарні режими обертання незрівноваженого ротора з кутовою швидкістю, яка дорівнює (близька) частоті коливань осі. Наводиться пояснення механізму вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора; продемонстровано, що вібрація «намагається нав'язати» частоту своїх коливань ротору, що її вплив після встановлення стаціонарного режиму руху стає цілком однозначним – лише гальмівним або лише обертальним. Для випадку, коли опір обертанню обумовлений переважно тертям у підшипниках незрівноваженого ротора, отримано просту умову існування стаціонарного режиму обертання ротора. Показано, що під час встановлення стаціонарного режиму можуть виникати порівняно повільні коливання швидкості ротора із значними початковими амплітудами. Аналітичні результати підтверджуються чисельним моделюванням явища вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора вібрацією його осі.*

***Ключові слова:** незрівноважений ротор; коливання осі; вплив вібрації; вібраційний момент; вібраційне захоплення*

Вступ. Вібрація осі незрівноваженого ротора з деякою частотою ω може забезпечити його стійке обертання з цією (або кратною до неї) частотою, при тому, що до появи вібрації ротор обертася з іншою частотою. Ефект вібраційної підтримки обертання незрівноваженого ротора знайшов використання при створенні низки вібротехнічних машин. Зокрема, він використовується у вібраційних грохотах, млинах та живильниках [1]. Відомо також його застосування у вібротехнічних машинах з інерційними збудниками, що самосинхронізуються. Крім цього, ефект вібраційної підтримки обертання незрівноваженого ротора використовується в пристроях для генерування енергії морських хвиль. Зазначимо, що дана задача використовувалася деякими авторами в якості модельної при аналізі динаміки механізмів під дією вібрації. Отже, дослідження механізму вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора під впливом вібрації осі становить актуальну прикладну задачу вібротехніки.

Аналіз досліджень з динаміки вібротехнічних машин з дебалансним приводом. Аналіз та узагальнення основних результатів досліджень явища вібраційної підтримки обертання незрівноваженого ротора під впливом вібрації осі викладено, зокрема, в монографії [1]. У [1] продемонстровано, що з використанням підходу вібраційної механіки вдається відносно просто з'ясувати основні закономірності поведінки нелінійних динамічних систем під дією вібрації; отримано умову існування та стійкості основного режиму обертання незрівноваженого ротора для загального випадку плоских коливань його осі; розглянуто випадки привода ротора від електродвигуна як асинхронного так і синхронного типу; встановлено, що потужність, яку може передавати вібрація на незрівноважений ротор, може бути достатньо великою; звертається увага на маятникові коливання незрівноваженого ротора поблизу стійкого стаціонарного режиму обертання. Основні кратні режими обертання незрівноваженого ротора під дією вібрації осі розглядалися в статті [2]. Водночас механізм явища вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора вимагає подальших досліджень.

Пропонована робота присвячена продовженню досліджень ефекту вібраційної підтримки обертання незрівноваженого ротора, наведених у монографії [1] та у статті [2].

Опис коливальної системи та рівняння руху. Розглянуто незрівноважений ротор (дебалансний вібротехнічний збудник), вісь підвісу якого здійснює задані вертикальні гармонічні коливання за законом $y = A \cos \omega t$, де A, ω – амплітуда та частота коливань осі (рис. 1). Рівняння руху незрівноваженого ротора з віброуючою віссю подано у вигляді

$$I\ddot{\varphi} = L(\dot{\varphi}) - R(\dot{\varphi}) - m\varepsilon(\omega^2 A \cos \varphi \cos \omega t - g \cos \varphi), \quad (1)$$

де I – момент інерції ротора відносно осі обертання; φ – кут повороту ротора, який відраховується за ходом годинникової стрілки; $L(\dot{\varphi})$ – обертальний момент електродвигуна; $R(\dot{\varphi})$ – момент сил опору обертання ротора; m, ε – маса і ексцентриситет ротора; g – прискорення вільного падіння.

Вважаємо, що момент опору $R(\dot{\varphi})$ може враховувати як опір у підшипниках ротора, так і корисне навантаження; ротор приводиться у обертання електродвигуном асинхронного типу.

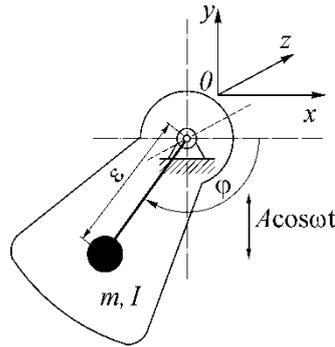


Рис. 1. Незрівноважений ротор з віброуючою віссю

Рівняння повільних рухів незрівноваженого ротора. Розглянуто основний режим стаціонарного обертання ротора, тобто, його обертання з середньою кутовою швидкістю $\dot{\varphi}_{cp}$, яка дорівнює (близька) до частоти коливань осі ротора ω . Використовуючи метод прямого розділення рухів, рівняння повільних і швидких рухів незрівноваженого ротора отримуємо у вигляді [1]

$$I\ddot{\alpha} + k\dot{\alpha} = \mu [L(\omega) - R(\omega) + V(\omega)], \quad (2)$$

$$I\ddot{\psi} + k\dot{\psi} = \mu [m\varepsilon(\omega^2 A \cos \varphi \cos \omega t - g \cos \varphi) - V(\omega)], \quad (3)$$

де $k = k_1 + k_2$ - сумарний коефіцієнт демпфування; $\mu > 0$ - малий параметр; $V(\omega) = -\langle m\varepsilon(\omega^2 A \cos \varphi \cos \omega t - g \cos \varphi) \rangle$.

При отриманні рівняння (3) проведена лінеаризація моментів $L(\dot{\varphi}) = L(\omega) - k_1(\dot{\varphi} - \omega)$, $R(\dot{\varphi}) = R(\omega) + k_2(\dot{\varphi} - \omega)$ поблизу частоти $\dot{\varphi} = \omega$, де $k_1 = -(dL(\dot{\varphi})/d\dot{\varphi})_{\dot{\varphi}=\omega} > 0$, $k_2 = (dR(\dot{\varphi})/d\dot{\varphi})_{\dot{\varphi}=\omega} > 0$ [1]. У рівнянні (3) останній доданок $V(\omega)$ є, так званим, вібраційним моментом [1, 3] - середнім значенням додаткового динамічного моменту, який діє на незрівноважений ротор унаслідок коливань осі.

Формулу для вібраційного моменту отримано у вигляді: $V(\omega) = -V_{\max} \cos \alpha$, де $V_{\max} = \frac{m\varepsilon\omega^2 A}{2}$ - максимальне значення (модуль) вібраційного моменту.

У розглядуваному випадку, коли кутові швидкості ω та $\dot{\varphi}$ не істотно відрізняються одна від одної, умову існування стаціонарного режиму обертання незрівноваженого ротора з частотою вібрації осі подано у формі $\left| \frac{k(\omega_0 - \omega)}{V_{\max}} \right| \leq 1$, де ω_0 - швидкість усталеного обертання ротора за відсутності коливань осі (так звана, парціальна кутова швидкість ротора [1]). Для практично важливих випадків, у яких момент опору обертання ротора обумовлено лише опором у підшипниках, умові можна надати більш практично цікавого вигляду:

$$\left| \frac{L_n(\omega_0 - \omega)}{W_{\max}(\omega_c - \omega_n)} \right| \leq 1, \quad (4)$$

де L_n , ω_n - номінальний момент і номінальна швидкість електродвигуна; ω_c - синхронна швидкість двигуна.

Нерівність (4) можна використовувати для грубої оцінки можливості захоплення обертання незрівноваженого ротора вібрацією його осі. Загальний розв'язок рівняння (3) відносно швидкості $\dot{\alpha}$ можна подати у вигляді

$$\dot{\alpha} = (\dot{\alpha}_0 - \dot{\alpha}_{ycm}) e^{-\frac{k}{I}t} + \dot{\alpha}_{ycm}, \quad (5)$$

$$\text{де } \dot{\alpha}_{\text{уст}} = \frac{L(\omega) - R(\omega) + V}{k}.$$

Рівняння (3) та розв'язок (5) описують повільний процес встановлення стаціонарного режиму обертання неврівноваженого ротора; тривалість перехідного процесу визначається величиною $T = I/k$, так званою, постійною часу машинного агрегату. Згідно з отриманими виразами, дія вібраційного моменту зводиться до встановлення та подальшого підтримання стійкого зсуву між фазами коливального та обертального рухів ротора. Показано, що характер дії вібрації визначається, перш за все, величиною зсуву фаз, який встановлюється між коливальним і обертальним рухами.

Комп'ютерне моделювання. Ефект вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора добре видно на рис. 2, отриманому за допомогою комп'ютерного моделювання. Зазначимо, що на рис. 2 у момент часу $t = 1,2 \text{ c}$, вісь ротора починає здійснювати коливання. Як бачимо з рис. 2, після нетривалого перехідного процесу ($t \approx 1 \text{ c}$) частота ω_0 стає рівною частоті вібрації ω (на рис. 2 наведено два випадки: 1-й $-\omega = 154 \text{ c}^{-1}$; 2-й $-\omega = 144 \text{ c}^{-1}$; горизонтальна пряма $-\omega_0 \approx 149 \text{ c}^{-1}$).

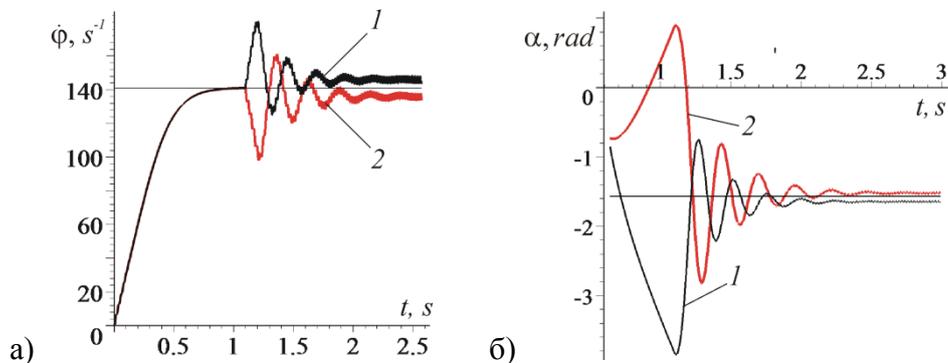


Рис. 2. Зміни у часі кутової швидкості обертання ротора, а) з моменту пуску; б) з початку дії вібрації: 1- $\omega = 154 \text{ c}^{-1}$; 2- $\omega = 136 \text{ c}^{-1}$

Рівняння швидких рухів. Рівняння (3) подано у вигляді рівняння коливного типу:

$$\ddot{\psi} + 2b_{\psi}\dot{\psi} + p_{\psi}^2\psi = \Phi_x \cos 2\omega t, \quad (6)$$

де $b_{\psi} = k/2I$; $p_{\psi}^2 = c_{\psi}/I$; $c_{\psi} = -V_{\text{max}} \sin \alpha$; $\Phi_x = -V_{\text{max}}/I$.

Показано, що за виконання умови $A < \varepsilon$ (яка є досить «м'якою»), частота p_{ψ} буде істотно меншою за частоту вібрації ω (в наведеному прикладі $p_{\psi} \approx 25 \text{ s}^{-1}$). Отже, при встановленні стаціонарного режиму вібраційного підтримання обертання незрівноваженого ротора, буде мати місце явно виражений перехідний процес з достатньо великими амплітудами та відносно повільною частотою коливань швидкості ротора. Збудження повільних коливань швидкості незрівноваженого ротора з вібруючою віссю при встановленні усталеного режиму його руху можна вважати загальною закономірністю [1, 4].

1 Висновки і перспективи подальших досліджень. У загальному випадку, вібрація осі незрівноваженого ротора або гальмує, або прискорює обертання ротора за довільним законом. У стаціонарному режимі вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора, вплив вібрації (оцінюється вібраційним моментом) стає цілком певним: гальмівним чи обертальним. Якщо частота вібрації більше за парціальну частоту ротора, буде мати місце вібраційне прискорення обертання незрівноваженого ротора і, навпаки, при виконанні умови $\omega_0 > \omega$ буде відбуватися вібраційне гальмування обертання ротора. Характер впливу вібрації визначається, перш за все, зсувом фаз, що встановлюється між обертальним і коливальним рухами. Отримані

результати можуть бути корисними при вдосконаленні систем управління мехатронними вібраційними установками.

Список літератури

1. Blekhman I.I. Vibrational mechanics – Nonlinear dynamic effects, General approach, Applications. Singapore et al.: World Scientific, 2000.
2. Блехман И.И., Ярошевич Н.П. Кратные режимы вибрационного поддержания вращения неуравновешенного ротора. Машиноведение. №6, 1989. с. 62-67.
3. Blekhman I.I., Blekhman L.I. H. Dresig and others. Selected Topics in Vibrational Mechanics. - New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, Taipei, Chennai: World Scientific, 2003.-427p
4. Yaroshevich N., Yaroshevych O., Lyshuk V. (2021) Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation. In: Balthazar J.M. (eds) Vibration Engineering and Technology of Machinery. Mechanisms and Machine Science, vol 95. Springer.

DYNAMICS OF VIBRATION CAPTURE OF ROTATION OF UNBALANCED ROTOR

Mikola P. Yaroshevich, Tetjana S. Yaroshevych, Victor M. Tymoshook

Abstract. Stationary modes of rotation of an unbalanced rotor with an angular velocity equal to (close to) the oscillation frequency of the axis are considered. An explanation of the mechanism of vibration capture of rotation of the unbalanced rotor is given; it is shown that vibration "tries to impose" the frequency of its oscillations to the rotor, that its influence after the establishment of a stationary mode of motion becomes quite unambiguous - only braking or only rotational. For the case when the resistance to rotation is mainly caused by friction in the bearings of unbalanced rotor, a simple condition for existence of a stationary rotor rotation mode is obtained. It is shown that during the establishment of the stationary mode, relatively slow oscillations of the rotor speed with significant initial amplitudes can occur. Analytical results are confirmed by numerical simulations of the phenomenon of vibration capture of an unbalanced rotor rotation by vibration of its axis.

Keywords: unbalanced rotor; axis oscillation; vibration influence; vibration moment; vibrational capture

УДК 621.3.011

Дослідження ефективної і енергоощадної віброустановки для формування тротуарних плит

Андрій Бондаренко

Одеська державна академія будівництва і архітектури, Одеса, Україна.

Анотація. Досліджено динаміку вібраційної установки для формування тротуарних плит. Здійснено огляд та аналіз існуючих віброустановок для формування малогабаритних виробів за критеріями енергоємності та матеріалоємності. Розрахунки показали суттєву відмінність між числовими значеннями критеріїв, що є свідченням відсутності загальноприйнятої методики розрахунку. Також очевидною причиною є застосування різних розрахункових моделей. Вирішення проблеми запропоновано шляхом застосування моделі з дискретними та розподіленими параметрами, яка найбільш реально відображає процес руху віброустановки. При цьому розглянуто дві розрахункові схеми вібраційної установки: система із гармонійним режимом роботи та віброударним режимом роботи. Складені рівняння руху таких систем. Рішенням отримані аналітичні формули для визначення основних параметрів робочого процесу. Визначені параметри стали основою алгоритмів та методик розрахунку, застосування яких забезпечують високу ефективність та мінімізацію енергоємності та матеріалоємності вібраційної установки.

Ключові слова: віброустановка, формування, тротуарна плита, критерії, параметри, модель, рівняння, гармонійний, віброударний, рух, методика, енергоефективність.

Віброустановки для формування тротуарних плиток, блоків, бетонної цегли, фігурних елементів мощення відносяться до малогабаритної вібраційної техніки. На рисунку1 приведені типові схеми конструкцій віброустановок за топом приводу із одним навісним вібратором, із двома навісними вібраторами та із приводом від окремого електродвигуна.

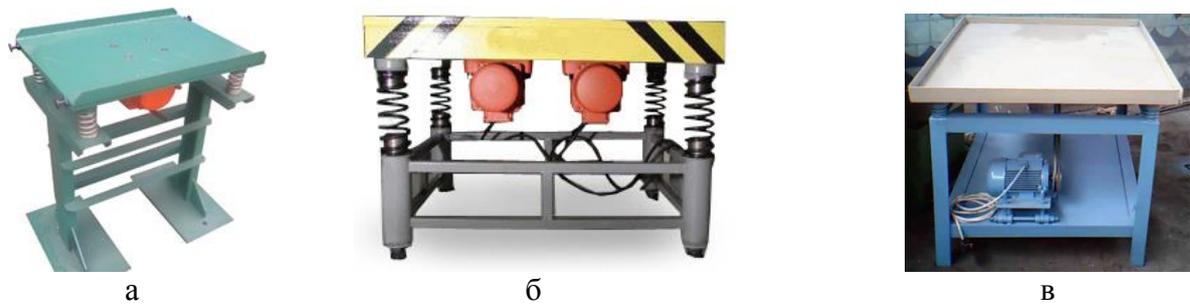


Рис.1. Типові конструкції віброустановок для формування тротуарних плит: а – із одним навісним вібратором; б – із двома навісними вібраторами; в- із приводом від електродвигуна.

За типом коливань малогабаритна вібраційна техніка здійснює кругові коливання (рис.1, а,в) та направленими коливаннями(рис.1, б). В роботі здійснено огляд та аналіз біля 25 конструктивних схем із використанням результати робіт[1],[2],[3],[4].

Для оцінки параметрів у відповідності до [5] вибрані три ключові критерії: загальний енергетичний, масовий і енергетичний на ущільнення суміші:

загальний енергетичний визначає відношення потужності P до маси віброустановки m_m :

$$k_1 = P/m_m ; \quad (1)$$

конструктивне рішення оцінюється співвідношенням маси машини m_m до маси бетонної суміші m_6 :

$$k_2 = m_m/m_6 ; \quad (2)$$

витрати енергії на ущільнення визначаються відношенням потужності P до маси бетонної суміші m_6 :

$$k_3 = P/m_6 . \quad (3)$$

Розрахунки за критеріями (1) - (3) засвідчили наступне. Числові значення критеріїв коливаються в доволі широких межах. Так, критерій k_1 коливається в межах 1.9 -9.0; за критерієм k_2 від $k_2=1$ до $k_2=3$, тобто в 2 рази. Критерій оцінки енергії на ущільнення також має різні значення – від $k_3=3,0$ до $k_3=14,0$. Така суттєва відмінність між числовими значеннями критеріїв є свідченням відсутності загальноприйнятої методики розрахунку, що, очевидно, обумовлено різними розрахунковими моделями.

В роботі розглянуто дві розрахункові схеми вібраційної установки:система із гармонійним режимом роботи (рис.2,а) та віброударним режимом роботи (рис.2,а).

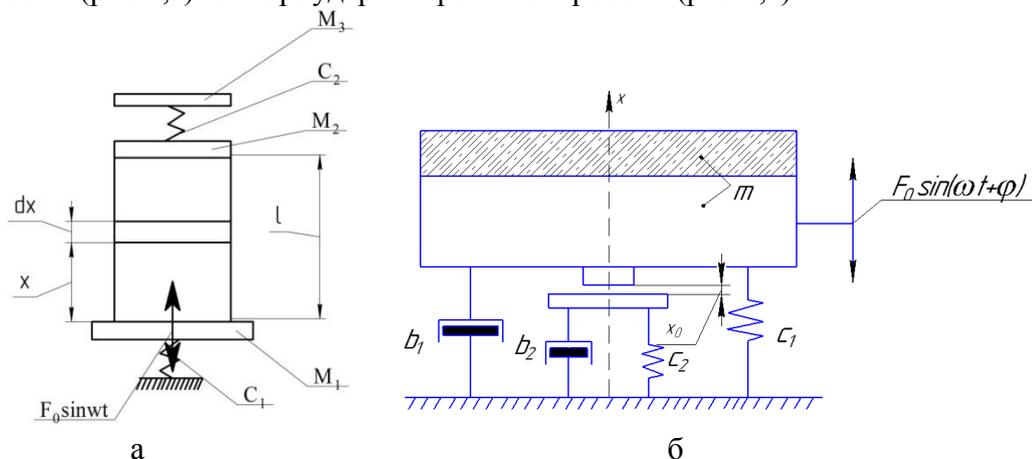


Рис.2.Розрахункові схеми вібраційної установки: а-система із гармонійним режимом роботи; б - система із віброударним режимом роботи; рис.2,а : M_1 – маса робочого органу; M_2 і M_3 – маси привантажувачів; C_1, C_2 – коефіцієнти пружності опор віброустановки та привантажувача; x - координата; l – висота бетонної суміші плити; F_0 – амплітуда вимушеної сили; рис.2,б: m – приведена маса системи «вібраційна установка – бетонна плита»; C_1, C_2 – коефіцієнти пружності; b_1, b_2 – коефіцієнти опору.

Рівняння руху бетонної суміші (рис.2,а) представлено, як хвильове рівняння у вигляді:

$$c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{f \partial^3 u}{\rho \partial x^2 \partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (4)$$

яке вирішувалося з граничними умовами для можливих схем робочого процесу: схема (рис.2,а) та за умови, що $M_2=0, M_3=0, C_2=0$; і за умови, що $M_3=0$ і $C_2=0$.

Отримана формула для амплітуди коливань у вигляді для умови $M_2=0, M_3=0, C_2=0$:

$$x_0 = \frac{F_0}{\sqrt{[(c - m_m)\omega^2 + m_c \mu \omega^2]^2 + [(b\omega^2) + m_c \psi \omega^2]^2}}, \quad (5)$$

де

$$\mu = \frac{\alpha \operatorname{sh} 2\alpha h + \beta \sin 2\beta h}{h(\alpha^2 + \beta^2)[ch 2\alpha h + \cos 2\beta h]}; \quad \psi = \frac{\alpha \sin 2\beta h - \beta \operatorname{sh} 2\alpha h}{h(\alpha^2 + \beta^2)[ch 2\alpha h + \cos 2\beta h]} \quad (6)$$

μ і ψ коефіцієнти інерційної та в'язкої частин опору бетонної суміші коливанням робочого органу віброустановки, які враховують геометричні (h) та фізико – механічні (ω, ρ, γ, c) властивості бетонної суміші.

Рівняння руху системи «віброустановка – бетонна суміш» (рис.2.,б) матиме вигляд:

За умови, що $x \leq x_0$:

$$m \ddot{x} + b_1 \dot{x} + c_1 x = F_a \cos(\omega t + \varphi); \quad (7)$$

За умови, що $x > x_0$:

$$m \ddot{x} + (b_1 + b_2) \dot{x} + c_1(x - x_0) + c_2 x = F_a \cos(\omega t + \varphi). \quad (8)$$

Вібраційна установка здійснює несиметричний рух за законом:

$$x^*(t) = \begin{cases} -x_1 \sin\left(\frac{\pi}{\tau_1} t\right), & 0 \leq t \leq \tau_1; \\ x_2 \sin\left(\frac{\pi}{\tau_2} t\right), & \tau_1 \leq t \leq \tau_2. \end{cases} \quad (9)$$

Тут x_1 й x_2 – напіврозмахи коливань робочого органу у відповідні частини періоду руху системи: T, τ_1, τ_2 .

За отриманими формулами встановлені закономірності руху вібраційних установок із гармонійним та віброударним режимом роботи і розроблені алгоритми та методики розрахунку їх основних параметрів.

Список літератури.

1. <http://www.tdteff.ru/product/282>.
2. <http://msd.com.ua/building/vibrostop/>.
3. <http://vladikavkaz.tiu.ru/m1025708-vibrostop-ev-340-380v/prices.htm>.
4. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник (2-е видання): – К.: КНУБА, 2007. – 252с.
5. Назаренко І.І. Гарнець В.М., Свідерський А.Т., Пентюк Б.М. Системний аналіз технічних об'єктів: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів // За заг. ред. І.І. Назаренка – К.: КНУБА, 2009. – 164 с.

RESEARCH OF EFFICIENT AND ENERGY-SAVING VIBRO INSTALLATION FOR FORMATION OF SIDEBOARDS

Andriy Bondarenko

Abstract. The dynamics of vibration installation for the formation of paving slabs is studied. A review and analysis of existing vibration plants for the formation of small products on the criteria of energy and material consumption. The calculations showed a significant difference between the numerical values of the criteria, which is evidence of the lack of generally accepted methods of calculation. Another obvious reason is the use of different

calculation models. The solution to the problem is proposed by using a model with discrete and distributed parameters, which most realistically reflects the process of movement of the vibrating installation. At the same time, two calculation schemes of vibration installation are considered: a system with harmonic mode of operation and vibro-shock mode of operation. The equations of motion of such systems are made. The solution provides analytical formulas for determining the basic parameters of the workflow. The determined parameters became the basis of algorithms and calculation methods, the application of which provides high efficiency and minimization of energy and material consumption of the vibrating installation.

Keywords: vibration installation, formation, paving slab, criteria, parameters, model, equation, harmonic, vibration shock, motion, technique, energy efficiency

УДК 621.923

Ефективне використання переносних відрізних машин

Григорій Мачишин, Юрій Абрашкевич

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. У даній роботі проведено дослідження існуючих машин для різання металопрокату. Встановлено, що різання абразивними армованими кругами забезпечує велику продуктивність, чистоту поверхні розрізання, незмінність структури розрізаного матеріалу, не потребує додаткової обробки та має суттєві переваги порівняно з вогневим та іншими механічними способами. Визначено основні параметри, що впливають на енергоємність різання та збільшення строку роботи абразивних армованих кругів як робочих органів переносних відрізних машин. Виконане дослідження дозволяє спроектувати переносну відрізну машину з абразивним робочим органом та раціональним кутом встановлення металопрокату, що розрізається, відносно вісі різання за рахунок затискного пристрою, що забезпечує збільшення терміну служби абразивного круга та дозволить зменшити кількість використаних абразивних армованих кругів.

Ключові слова: абразивний армований круг, затискний пристрій, металопрокат, переносна машина.

Вступ

На будівельно-монтажних роботах механічне різання металу виконується на виробничих базах і монтажних ділянках. В залежності від умов експлуатації до машин для різання діють різні вимоги. Механічне різання виконується труборізами з різцевими інструментами, дисковими та стрічковими пилами [1].

Машини з ножівковими полотнами для роботи в стаціонарних умовах малопродуктивні та мають низькі енергетичні показники із-за витрат на тертя при зворотному холостому ході, термін служби ножівкових полотен малий. Крім того, вони мають відносно великі габарити та масу.

Різання абразивними армованими кругами забезпечує велику продуктивність, чистоту поверхні, незмінність структури розрізаного матеріалу, не потребує додаткової обробки та має суттєві переваги порівняно з вогневим та іншими механічними способами. Різання труб і металопрокату на виробничих базах та монтажних площадках виконується за допомогою маятникових пил, робочим органом в яких є абразивні армовані круги діаметром 300, 400 та 500 мм. Затискні пристрої таких машин не дозволяють забезпечити ефективні способи різання, які мінімізують вплив теплових процесів і, відповідно, збільшити зносостійкість абразивного круга. Крім того, такі машини мають велику масу [2, 3].

Мета роботи

Мета даної роботи – визначення основних параметрів, що впливають на енергоємність різання та збільшення строку роботи абразивних армованих кругів як робочих органів переносних відрізних машин.

Виклад основного матеріалу

На будівельно-монтажних роботах абразивне різання труб і металопрокату здійснюється ручними машинами та маятниковими пилами, маючи порівняно невелику потужність приводу і вагу. Корисність різання у значному ступені залежить від взаємного розташування круга та розрізаного виробу.

Робота абразивного круга розглядається як процес тертя та зношення двох тіл круга та розрізуваного матеріалу. Визначити енергію, витрачену на кожний із цих процесів окремо не можливо, тому приймаємо, що тангенціальна складова зусилля різання у розрахунковій схемі сил (рис.1) враховує ці процеси у цілому, при цьому увага акцентована на різанні абразивними зернами.

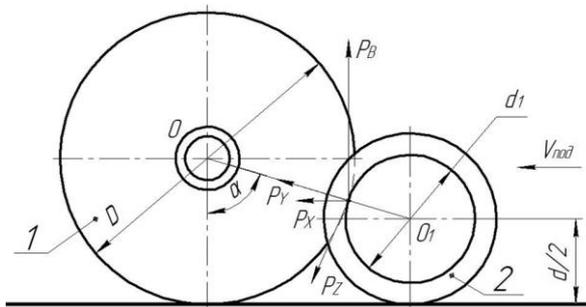


Рис.1. Схема зусиль діючих на абразивний армований круг: 1 – круг, 2 – труба

У відповідності з викладеним прийнято, що точки прикладених результуючих сил, утворених у процесі різання, розташовані на внутрішній поверхні стінки труби на лінії, що з'єднує центр круга та розрізувану трубу.

Із рис.1:

$$\cos \alpha = \frac{D - d}{D + d_1}; \quad (1)$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{D - d}{D + d_1} \right); \quad (2)$$

$$P_y = P_z \cos \alpha - P_x \sin \alpha; \quad (3)$$

$$P_x = P_y \sin \alpha + P_z \cos \alpha. \quad (4)$$

Із рівнянь (3) та (4), маємо:

$$P_y = P_y \cos \alpha - P_x \sin \alpha; \quad (5)$$

$$P_z = P_x \cos \alpha + P_y \sin \alpha; \quad (6)$$

де P_y – вертикальна складова зусилля різання, Н; P_x – нормальна складова зусилля різання, Н; P_z – тангенціальна складова зусилля різання, Н; P_x – горизонтальна складова зусилля різання, Н; α – кут, що визначає точку прикладання результуючих зусилля різання, град; D – діаметр круга, мм; d – зовнішній діаметр труби, мм; d_1 – внутрішній діаметр труби, мм.

У процесі досліджень встановлено, що відношення тангенціальних зусилля до нормальних залежить від коефіцієнту тертя, та складає

$$\frac{P_z}{P_y} \approx 0,35. \quad (7)$$

Потужність, що витрачається на різання, визначається за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot V_g}{1000}, \quad (8)$$

де V_g – колова швидкість різання, м/с.

Потужність приводу маятникових пил визначають за формулою:

$$N_D = \frac{M_n}{9750000 \cdot \eta} = \frac{P_z \cdot \frac{D}{2} \cdot n}{97500000 \cdot \eta}, \quad (9)$$

де D – діаметр круга, мм; n – частота обертання круга, об/хв; M_n – обертальний момент шпинделя, Н·м; η – коефіцієнт корисної дії машини, $\eta = 0,95$.

Зусилля на рукоятці (рис. 2) визначається за формулою

$$Q = \frac{P_z \cdot l_4 + P_y \cdot l_3 + 0,1 \cdot Q_m \cdot \cos \alpha_1 \cdot l_2}{l_1}, \quad (10)$$

де Q_m – маса електродвигуна, кг; α_1 – кут нахилу маятника, град; l_1 – відстань від точки прикладення навантаження на рукоятці до точки закріплення маятника, м; l_2 – відстань від точки закріплення двигуна до точки закріплення маятника, м; l_3 – відстань від центра круга до точки закріплення маятника, м; l_4 – відстань від центра круга до точки торкання круга з матеріалом, що розрізується, м.

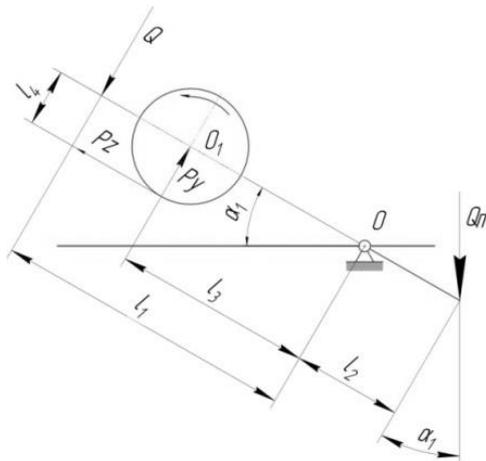


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення зусиль на рукоятці маятникової пили

Враховуючи, що маса електродвигуна повинна бути зрівноважена силою тяжіння $Q_m \cdot \cos \alpha_1 \cdot l_2 = 0$, то зусилля на рукоятці машини буде наступним

$$Q = \frac{P_z \cdot l_4 + P_y \cdot l_3}{l_1}. \quad (11)$$

Максимальне зусилля повинне бути не більшим ≤ 85 Н. Більше зусилля призведе до швидкої втомленості оператора.

В результаті розрахунків отримано основні технічні характеристики для проектування переносної машини для різання металопрокату абразивними кругами: $V_g = 80$ м/с; $V_p = 1,3 \cdot 10^{-2}$ м/с; $P_y = 180$ Н; $P_z = 65$ Н; $\alpha_1 = 60^\circ$; $P_g = 3371$ Н; $P_x = 188$ Н; $N_d = 5,4$ кВт.

З врахуванням пускового ходу вибирається двигун з більшою потужністю $N_d = 7,5$ кВт

$Q = 75$ Н ≤ 85 Н. Отже умова виконана.

Наведених залежностей достатньо для розрахунків та проектування звичайної переносної машини для різання металопрокату за один прохід – коли вісь матеріалу, що розрізається, співпадає з віссю круга.

Відповідно із залежністю ефективної потужності привідної машини, що визначається за формулою

$$N_{ef} = q_i^0 \frac{n_3}{2\pi R} l_k, \quad (12)$$

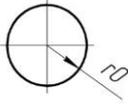
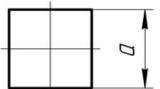
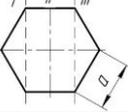
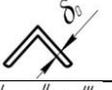
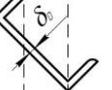
де $q_i^0 = \frac{A_0}{\tau} \cdot \frac{n_3}{2\pi R} l_k$ – потужність, що витрачається при роботі одиничним зерном; n_3 – кількість абразивних зерен на різальній кромці круга; A_0 – енергія, що витрачається на різання; τ – час

різання; $R = D/2$ – радіус круга; l_k – довжина дуги контакту. З формули (12) видно, що на ефективність різання впливає два фактори, а саме l_k та q_i^0 .

Довжина дуги контакту l_k (табл. 1) залежить від поперечного перерізу металопрокату, що розрізається, та кута α_3 , на який зміщено деталь, яку розрізають, відносно вертикальної вісі різання [4].

Таблиця 1

Довжина дуги контакту абразивного круга з металопрокатом

Схеми різання	Залежність, що описує довжину дуги контакту
	$l_k = 2R \arccos \left[1 - \frac{2r_0 h_0 - h_0^2}{2R(R + r_0 - h_0)} \right]$, h_0 - глибина різання.
	$l_k = 2R \arccos \frac{a}{2R}$
	$l_{k1} = 2R \arccos \frac{h\sqrt{3}}{R}$, $l_{k2}^{\max} = 2R \arccos \frac{a\sqrt{3}}{2R}$, $l_{k3} = 2R \arccos \frac{2a-h}{R}$
	$l_k = \delta_0 \sqrt{2}$
	$l_{k1} = 2\delta_0 \sqrt{2}$, $l_{k2} = l_{k2} = \delta_0 \sqrt{2}$
	$l_{k1} = 2\delta_0 \sqrt{2}$, $l_{k2} = l_{k2} = \delta_0 \sqrt{2}$

Для труб різного діаметру було визначено раціональний кут α_3 , його значення відображено в табл. 2.

Таблиця 2.

Значення кута α_3 різання труб

Умовний діаметр труби, мм	Початковий діаметр круга, мм	Діаметр зношеного круга, мм	α_3^{\max} , рад	α_3^{\min} , рад
150	500	440	0,54	0,49
125	500	385	0,64	0,51
100	500	335	0,69	0,54
80	500	295	0,77	0,57
125	400	385	0,52	0,51
100	400	335	0,61	0,54
80	400	295	0,69	0,57
70	400	270	0,75	0,60
50	400	234	0,85	0,66
70	300	270	0,64	0,60
50	300	235	0,75	0,66

Висновки

При проектуванні нових переносних машин або переоснащенні вже існуючих, необхідно враховувати кут встановлення металопрокату відносно вісі абразивного відрізного круга для отримання найменшої довжини дуги контакту, що дозволить зменшити кількість використаних абразивних армованих кругів.

Список літератури

1. Механізація трудомістких процесів / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Смірнов, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський. – Київ: КНУБА, 2006. – 180 с. – (КНУБА).
2. Абрашкевич Ю. Д. Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю. Д. Абрашкевич, Г. М. Мачишин, В. П. Тишковець. // Всеукраїнський збірник наукових праць \\"Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини\". – 2005. – №85. – С. 54...59.
3. Абрашкевич Ю. Д. Эксплуатация абразивных армированных кругов / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Е. Пелевин, Г. Н. Мачишин. // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2016. – №4. – С. 30...32.
4. Кінематичні та силові параметри машин з абразивними армованими кругами / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Є. Пелевін, В. П. Рашківський, Д. А. Соловей. // Всеукраїнський збірник наукових праць \\"Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини\". – 2011. – №78. – С. 59...65.

EFFICIENT USE OF PORTABLE CUTTING MACHINES

Hrygoriy Machyshyn, Yuri Abrashkevych

Abstract. In this paper, a study of existing machines for cutting rolled metal. It is established that cutting with abrasive reinforced wheels provides high productivity, cleanliness of the cutting surface, invariability of the structure of the cut material, does not require additional processing and has significant advantages over fire and other mechanical methods. The main parameters influencing the energy intensity of cutting and increasing the service life of abrasive reinforced wheels as working bodies of portable cutting machines are determined. The performed research allows to design a portable cutting machine with abrasive working body and rational angle of installation of rolled metal relative to the cutting axis due to the clamping device, which increases the service life of the abrasive wheel and reduces the number of used abrasive reinforced wheels.

Keywords: reinforced abrasive wheel, the clamping device, metal assortment, portable machine.

УДК 621.923

Ефективне та безпечне застосування абразивних робочих органів

Григорій Мачишин, Юрій Абрашкевич

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. У даній роботі відображені результати досліджень по впливу кліматичних і інших факторів на міцнісні та експлуатаційні показники абразивних армованих кругів. Встановлено взаємозв'язок між параметрами абразивних армованих кругів і довкілля в процесі дослідів не тільки в природних, а також і в лабораторних умовах. Визначено негативні впливи вологи на якість абразивних армованих інструментів в процесі випробування чотирьох партій кругів в природних кліматичних умовах. На основі проведених дослідів, розроблені рекомендації по умовам експлуатації та зберіганню абразивних армованих кругів в монтажних організаціях, а також вимоги по їх пакуванню на заводі-виробнику. Виконання вимог описаних в роботі дозволить не тільки забезпечити безпечну та продуктивну роботу абразивним інструментом, а також дозволить істотно збільшити їх економічну ефективність.

Ключові слова: абразивний армований круг, вологість, руйнування, зносостійкість, міцність.

В теперішній час абразивні армовані круги в поєднанні з ручними шліфувальними машинами та переносними маятниковими пилами отримали широке застосування при виконанні масових трудомістких відрізних та зачисних операцій в процесі виготовлення металоконструкцій на заводах та монтажних майданчиках [1]. Вони експлуатуються з коловою швидкістю 80 м/с і відносяться до інструментів підвищеної небезпеки. Заводи-виготівельники абразивного

інструменту гарантують їх безпечне використання але при цьому не враховуються умови їх експлуатації.

У відповідності з стандартами [2], кожен абразивний круг перед встановлення його на привідну машину повинен випробуватися у користувача на механічну міцність. Проте, враховуючи специфіку монтажних робіт, такі вимоги важко виконати, так як і випробування кругів, які розповсюджуються через торговельні мережі. Виходячи з цього, визначалась можливість виключити ці випробування у користувача та забезпечити безпечне використання абразивних армованих кругів. Враховуючи, що круги транспортуються та використовуються в різних кліматичних умовах, нами визначався їх вплив на міцність та зносостійкість абразивних інструментів.

Взаємозв'язок між параметрами абразивних армованих кругів і доквілля встановлювався в процесі дослідів не тільки в природних, а також в лабораторних умовах. Викликано це тривалістю натуральних випробувань, мінливістю досліджуваних параметрів і, як наслідок, незадовільною повторюваністю отриманих результатів.

Лабораторні досліді, які імітують натуральні, виконувалися за допомогою камери штучної погоди, низькотемпературного стола, термоклава та ультрафіолетового випромінювання.

Випробування на термостійкість проводились в інтервалі температур 213...328 К на протязі 24...240 годин. Встановлено, що міцність та зносостійкість кругів зменшуються при мінусових температурах. Це пояснює пошкодження структури абразивного інструменту внаслідок утворення мікротріщин при замерзанні води, яка знаходиться в його порах. При транспортуванні абразивних армованих кругів в різні регіони, особливо в осінньо-зимовий період, цикл «заморожування-розморожування» повторяється неодноразово. В результаті при розморожуванні мікротріщини заповнюються водою, а при заморожуванні їх кількість збільшується. Таким чином, через збільшення циклів «заморожування-розморожування» міцність та експлуатаційні характеристики абразивних армованих кругів погіршуються, що і було підтверджено (рис. 1) в процесі експериментальних дослідів. Так, в результаті п'яти циклів механічна міцність кругів зменшується майже на 30%, а зносостійкість – 20%.

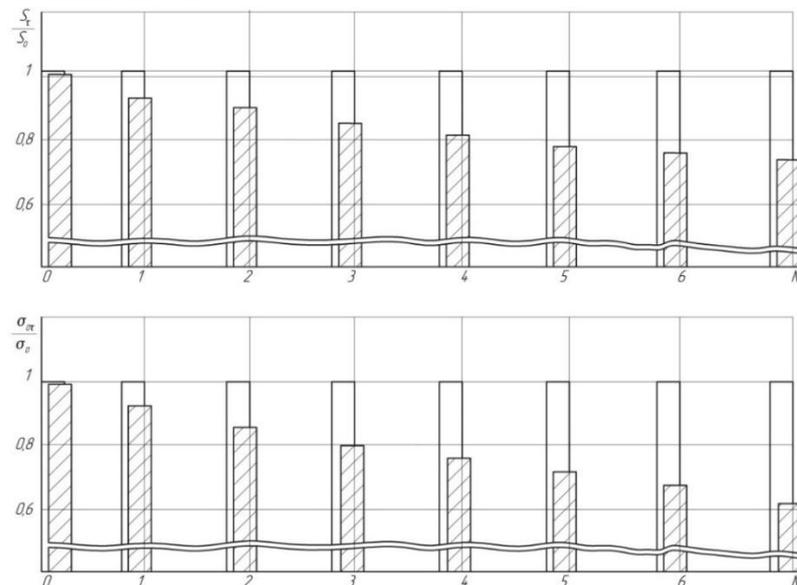


Рис. 1. Залежності зносостійкості (S_T/S_0) та міцності (σ_T/σ_0) кругів від кількості циклів «заморожування-розморожування» (N): S_0 і σ_0 - зносостійкість та межа міцності еталонних кругів, S_T і σ_T – кругів, які піддавалися кліматичним впливам

Вивчення впливу вологості виконувалися в діапазоні від 20 до 100% при фіксованій температурі. Встановлено, що зносостійкість і міцність кругів зменшується при вологості, яка перевищує 80%, отже вони повинні зберігатися в сухих опалюваних приміщеннях.

Негативні впливи вологи на якість абразивних армованих інструментів було підтверджено в процесі випробування чотирьох партій кругів в природних кліматичних умовах (рис. 2). Перша знаходилась під відкритим небом і протягом дванадцяти місяців піддавалися прямому впливу

атмосферних осадів, сонячної радіації та перепад температур. Друга партія в заводській упаковці, третя, на відміну від першої, розміщувалась під навісом, який захищав круги від прямого впливу вказаних факторів, а четверта – в опалювальному складському приміщенні. В процесі випробування встановлено, що міцність і зносостійкість перших трьох партій зменшилась майже на 50%, а аналогічні показники інструментів, які зберігалися на складі, залишились майже без змін.

Максимальна інтегральна щільність теплового потоку сонячного випромінювання складає 1125 Вт/м^2 , в тому числі від ультрафіолетової частини спектру, яка надає найбільший вплив на властивості полімерів – 68 Вт/м^2 . Було використано ультрафіолетовий випромінювач, який забезпечує щільність потоку на відстані один метр в 6,1-6,3 рази вище. Під дією сонячного випромінювання в полімерних композиціях відбувається реакція деструкції, що призводить до прогресуючого зменшення молекулярної маси. Це погіршує механічні характеристики матеріалу та структурування, в процесі якого утворюються поперечні хімічні зв'язки між макромолекулами і збільшується крихкість полімеру. Відомо [3], що вказані процеси можуть протікати одночасно, внаслідок чого властивості полімерної композиції стабілізуються. Не виключено, що аналогічні реакції протікають і в матрицях абразивних кругів, про що свідчать зміни зовнішнього забарвлення після 210 діб опромінення. Проте нами не виявлений вплив ультрафіолетового опромінення на міцність і експлуатаційні показники абразивних армованих кругів.

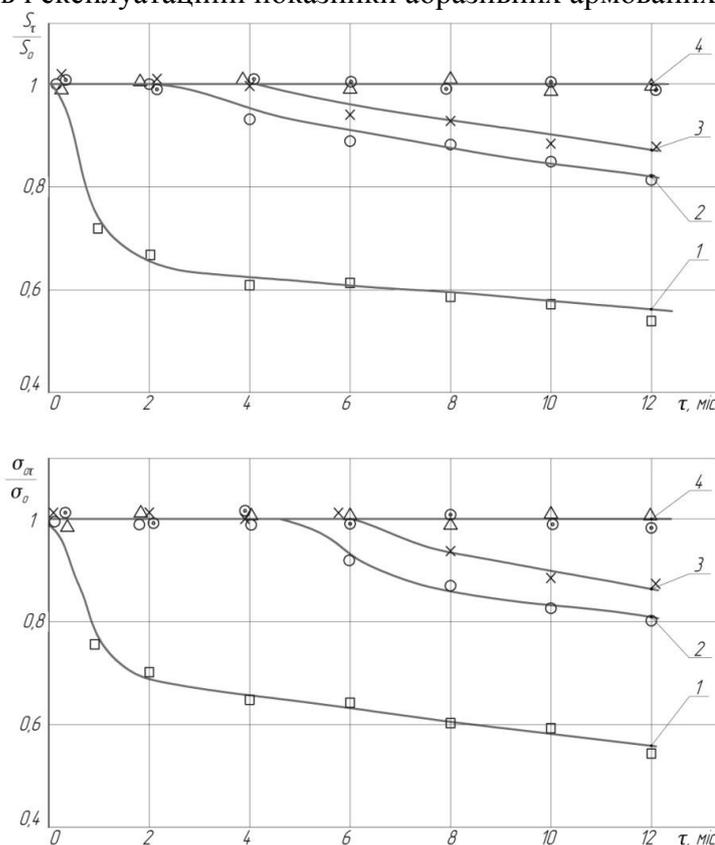


Рис. 2. Залежності зносостійкості (S_τ/S_0) та міцності ($\sigma_{\sigma_a}/\sigma_0$) від умов і терміну зберігання кругів: 1 – на відкритому повітрі; 2 – в заводській упаковці; 3 – в заводській упаковці під навісом; 4 – на складі

На основі проведених дослідів визначено, що вплив вологи негативно впливає на міцність та експлуатаційні показники абразивних кругів. Це узгоджується з результатами дослідів [4] виконаними при вивченні старіння фенольних смол, наповнених дерев'яним борошном і пояснюється зменшенням в присутності вологи величин сил молекулярної взаємодії між абразивними зернами, матрицею та склосіткою. З метою підвищення економічної ефективності абразивних армованих кругів, яка в значній степені визначається зносостійкістю, а також їх безпекою в експлуатації, нами рекомендовано на заводі-виробнику упаковувати круги в герметичні пакети із термоусадочної плівки. В цьому випадку виключається негативний вплив

вологи та перепадів температур на якість абразивних кругів, так як конденсат із навколишнього середовища не проникає в полімерну матрицю абразивного інструмента.

На основі проведених дослідів, розроблені рекомендації по умовам експлуатації та зберіганню абразивних армованих кругів в монтажних організаціях, а також вимоги по їх пакуванню на заводі-виробнику.

Перед встановленням на машину кожен круг піддається ретельній перевірці. При цьому в разі виникнення тріщин, вибоїн, спотворень і других дефектів він відбраковується.

Круги, які мають відхилення від номінальних розмірів і форми, в процесі роботи спричиняють сильну вібрацію, яка негативно позначається на якості роботи, стану приводу машини та шкодить здоров'ю робітника. Особливо небезпечна вібрація при виконанні операції різання, так як биття круга викликає підвищене бокове тертя, яке, в свою чергу, може призвести до його поломки.

Круги повинні використовувати тільки за призначенням, вказаному на етикетці. Не допускається проводити зачистку відрізними кругами із-за їх можливої поломки. Різати металопрокат кругами, призначеними для різання кам'яних матеріалів, не рекомендується із-за їх інтенсивного зношення під час роботи.

Перед встановленням круга на машину необхідно звернути особливу увагу, щоб частота обертання круга відповідала частоті обертання шпинделя, яка вказана в паспорті приводної машини. Категорично заборонене встановлення круга на машини з частотою обертання шпинделя більше, чим вказано на крузі – це може привести до нещасного випадку. При встановленні круга на машину з меншою частотою обертання шпинделя, чим вказано на його етикетці, продуктивність зменшується, а зношення інструменту збільшується.

Робітник, який працює з ручними шліфувальними машинами чи на станках типу маятникова пила, повинен бути забезпечений і постійно мати гайковий ключ для кріплення кожуху та спеціальний ключ для кріплення затискних фланців, а також запас абразивних кругів, які необхідні для роботи під час зміни. Круги слід оберігати від впливу атмосферних осадів і механічних пошкоджень. Абразивні армовані круги слід закріплювати на шпинделі з допомогою інвентарних затискних фланців, які відповідають формі даного круга. Слід ретельно слідкувати за станом різьби на фланцях і хвостовиках шпинделя машини: не допускати використання машини при наявності вм'ятин чи інших пошкоджень. Круг повинен вільно надягатися на посадочну частину фланця, прикладати зусилля, а тим паче наносити удари категорично заборонено. Фланці слід затискати тільки за допомогою спеціальних ключів, при цьому застосовувати різного виду подовжувачі, збільшуючи силу затяжки, заборонено. Напрямок різьби на кінці шпинделя повинен бути зворотнім напрямку обертання круга. При увімкненні двигуна абразивний круг не повинен торкатися поверхні, яка обробляється.

Після встановлення нового круга перед запуском машини необхідно перевірити справність і надійність кріплення кожуха до машини. Колір захисних кожухів повинен попереджувати про небезпеку дотику з робочим органом і відрізнятись від кольору корпусу машини. Перед початком роботи круг, який встановлений на машину, повинен бути підданий короткочасному обертанню вхолосту із робочою швидкістю. При цьому круги діаметром до 400мм слід обертати не менше 2 хв., а круги більше 400мм – не менше 5хв. При випробуванні машину необхідно тримати так, щоб круг знаходився у вертикальному положенні. В небезпечній зоні не повинно бути людей. У випадку виявлення при випробуванні биття круга, машину необхідно негайно вимкнути, з'ясувати та усунути причину, яка викликала биття.

Тільки після дотримання всіх вище перерахованих рекомендації можливо приступати до роботи машинами з абразивними армованими кругами, яка повинна доручатись тільки особам, які пройшли інструктаж.

Труби, які розрізаються, профільний метал, будівельні матеріали і т.д. до початку роботи повинні бути надійно закріплені, в іншому випадку можливі поломки круга. При різанні круг необхідно подавати рівномірно (без ривків, поштовхів і т.д.), по можливості безперервно, без зайвих виводів круга із різку. При довготривалій роботі шліфувальною машиною робочому слід змінювати положення свого корпусу, послідовно навантажуючи та розслабляючи працюючі групи

м'язів. Зусилля на рукоятці машини повинні бути в межах, щоб візуально не відчувалось падіння обертів круга. При роботі з абразивними армованими кругами робочий повинен знаходитися: при різанні та зачищенні метала – поза зоною попадання іскор, а при різці вогнетривів – шлаку. Мінімально допустимий для роботи діаметр зношеного круга визначається розміром зовнішнього діаметра затискного фланця плюс 20мм. У випадку неполадок в машині для приводу круга слід керуватися інструкцією по експлуатації, якою її комплектує завод-виробник.

Дотримання вимог техніки безпеки гарантує безпечність робіт з абразивними армованими кругами. Організації, що використовують абразивні армовані круги повинні розробити, а головний інженер (начальник) затвердити детальні інструкції з техніки безпеки при виконанні різних робіт абразивним інструментом. Інструкція повинна бути видана кожному робітнику під розписку при проведенні первинного інструктажу по техніці безпеки.

При роботі з абразивними армованими кругами в поєднанні з машинами, які мають електричні чи пневматичні приводи, слід керуватися доданими до паспорту інструкціями по експлуатації цих машин, а також виконувати наступні основні вимоги:

- до роботи допускати тільки осіб, які пройшли спеціальне навчання та мають посвідчення;
- працювати обов'язково в рукавицях і ретельно заправленому робочому костюмі, який надійно захищає від іскор;
- встановлювати круг на привідну машину тільки при відключеній електромережі;
- застосовувати затискні фланці, які відрізняються по формі та розмірах від фланців заводів-виробників машин, заборонено;
- перед початком роботи перевіряти надійність кріплення круга та кожуха;
- вмикати машину тільки при встановленому захисному кожусі;
- при роботі в закритому приміщенні, замкнутих ємностях і інших подібних умовах необхідно користуватися пристроями, які знижують рівень шуму;
- якщо при запуску двигуна круг не обертається, перевірити його вручну при увімкненому пусковому пристрої заборонено;
- не допускати при роботі попадання іскор на робітника та оточуючих, а також на кабель чи шланг привідної машини;
- після вимкнення машини зупиняти круг, що обертається руками, або об інші поверхні чи предмети заборонено;

Для забезпечення безпечної роботи абразивні армовані круги слід зберігати в сухому приміщенні при температурі не нижче 5°C, зберігання у вологих (при вологості вище 65%) приміщеннях заборонено.

Абразивні армовані круги необхідно зберігати в горизонтальному положенні на складах чи в коморах, обладнаних стелажми, полицями чи ящиками, які забезпечують збереження кругів різних форм і розмірів. Комірки металічних стелажів повинні бути обшиті матеріалом (деревом, повстю та іншими), дотик якого з кругом не викликає його пошкодження. Перевозити абразивні круги в контакт з металевими деталями не допускається.

Відрізнi круги слід зберігати стопками, висота яких при зберіганні та транспортуванні кругів повинна бути не більше:

- 600мм – для кругів діаметром 150-300мм.
- 1000мм – для кругів діаметрів більше 300мм.

При цьому стопку з кругами слід укладати між спеціальними металічними дисками з чисто обробленою поверхнею товщиною не менше 2мм. Діаметр металевого диска повинен відповідати діаметру круга. Щоб уникнути викривлення відрізнi круги повинні знаходитися під постійним навантаженням не менше 2-3кг.

Зачисні круги типу 27 (5П) слід зберігати на спеціальних піддонах із стрижнем, який повинен входити в посадочні отвори кругів. При цьому круги повинні бути складені стопками не більше 300мм.

На кожній комірці стелажа чи ящика повинна бути бирка чи наліпка, на якій вказано повну характеристику абразивного інструменту у відповідності з його заводською етикеткою.

Особливу увагу необхідно звертати на зберігання кругів безпосередньо на робочому місці; тут не варто мати запас кругів, перевищуючи потребу в них на 1 зміну. Круги повинні бути складені в ізольовані комірки інструментальних ящиків і захищені від потрапляння атмосферних осадів.

Виконання вказаних вимог дозволить не тільки забезпечити безпечну та продуктивну роботу абразивним інструментом, а також дозволить істотно збільшити їх економічну ефективність.

Список літератури

1. Абрашкевич Ю.Д., Смірнов В.М., Пелевін Л.С., Рашківський В.П. *Механізація трудомістких процесів. Навчальний посібник.* – К.: КНУБА, 2006. – 180 с.
2. ГОСТ Р 52588-2011.
3. Фойгг И. *Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла.* – Л.: Химия, 1972. – 544 с.
4. Павлов Н.Н. *Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях.* – М.: Химия, 1982. – 275 с.

EFFECTIVE AND SAFE APPLICATION OF ABRASIVE WORKING ORGANS

Hrygoriy Machyshyn, Yuri Abrashkevych

Abstract. In this work the represented results of researches on influence of climatic and other factors on strength and operating indexes of the abrasive reinforced circles. Intercommunication is set between the parameters of the abrasive reinforced circles and environment in the process of experiments not only in natural, and also and in laboratory terms. Negative influences of moisture are certain on quality of the abrasive reinforced instruments in the process of test of four parties of circles in natural climatic terms. On the basis of the conducted experiments, worked out recommendations for to the external environments and storage of the abrasive reinforced circles in assembling organizations, and also requirements on their packing on a plant-producer. Implementation of requirements described in-process will allow not only to provide safe and productive work by an abrasive instrument, and also will allow substantially will increase them economic efficiency.

Keywords: an abrasive is reinforced circle, humidity, destruction, wearproofness, durability.

УДК 666.982.033:625.84

Розробка методів розрахунку та створення енергоощадних машин поверхневого ущільнення будівельних сумішей

Андрій Запривода

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Досліджено робочі процеси ущільнення будівельних сумішей поверхневими машинами – вібропристроями та вібраційними котками на основі вирішення контактної взаємодії із ущільнюючими середовищами. Запропоновано критерії оцінки ефективності робочих процесів ущільнення будівельних сумішей поверхневими машинами. З'ясовано, що робота всіх машин для ущільнення пов'язана з прикладенням на їхню поверхню циклічних навантажень і розвантажень будівельної суміші. При навантаженні напружений стан суміші підвищується, а при розвантаженні знижується. У деяких випадках розвантаження не відразу відбувається за навантаженням, тобто максимальний напружений стан суміші підтримується протягом деякого часу. До параметрів циклічного навантаження віднесено максимальну величину напруження, швидкість зміни напруженого стану й загальний час, протягом якого будівельна суміш перебуває під дією навантаження. Швидкість зміни напруженого стану прийнята як головний критерій і представляє собою першу похідну від напруження. Отримані числові значення швидкості зміни напруженого стану для різних режимів ущільнення. Запропоновані алгоритми та розроблені методи розрахунку машин поверхневого ущільнення, реалізація яких дозволяє забезпечити заданий технологією ефективний режим робочого процесу.

Ключові слова: вібропристрій, коток, модель, будівельна суміш, ущільнення, режими, параметри, енергія, методика, розрахунок.

В сучасному будівництві значними темпами розвивається технологія створення різних об'єктів, яка потребує високого рівня продуктивності та необхідність отримання високої якості

виконання процесів, зазначених в будівельному проекті. Значна доля у споруджених об'єктах належить формуванню поверхневих горизонтальних поверхонь, які сягають в деяких випадках 30–50% від загального об'єму будівельних робіт. До них відносяться перекриття, підземні технологічні приміщення, паркінги, дорожнє полотно. Технологія улаштування цих і подібних формоутворень потребує виконання таких технологічних операцій, як транспортування, укладання будівельних сумішей, їх ущільнення та загладжування. Наразі розглядається процес ущільнення поверхневими машинами – вібропристроями та вібраційними котками на основі вирішення контактної взаємодії із ущільнюючими середовищами. Існуюче обладнання для ущільнення будівельних сумішей не в повній мірі відповідають сучасним вимогам. Обумовлюється це тим, що існуюче поверхнєве обладнання не в повній мірі забезпечує необхідну продуктивність, а досягнення заданої якості потребує відповідного вибору параметрів машин. На основі огляду та аналізу існуючих робіт [1],[2],[3],[4],[5],[6] та результатів власних досліджень [7],[8],[9],[10] визначені задачі зазначених досліджень. Здійснені аналітичні дослідження руху вібропристрою із врахуванням впливу будівельної суміші за умов стабілізації режиму та самосинхронізації вібраторів на рамі та режими і параметри вібраційних котків із врахуванням впливу будівельної суміші при улаштуванні дорожнього покриття. Визначення режимів та параметрів поверхневих вібропристроїв здійснювалося із врахуванням, що розрахункова модель бетонної суміші достеменно відображає реальні умови її руху із врахуванням: всіх складових опор, до яких відносяться інерційні, пружні і дисипативні її властивості; характеру коливань з врахуванням сил зчеплення, які діють в контактній зоні; вираховування впливу конструктивної схеми машини на режими формування горизонтальної поверхні виробу. Процес руху бетонної суміші зводиться до прийнятого наступного припущення. Робочий орган вібропристрою є джерелом енергії для бетонної суміші, а шар її в контактній з робочим органом здійснює коливально-хвильовий процес і передає енергію коливань наступним шарам бетонної суміші, розташованим в її глибині.

Однак існує іще один механізм руху елементарного шару бетонної суміші, можливе переміщення у горизонтальному напрямку. Такий вид руху пояснюється наступним припущенням. Енергія від шару до шару бетонної суміші може передаватися внаслідок тертя контактуючих між собою сусідніх шарів бетонної суміші. При цьому в бетонній суміші поряд з поетапним стисненням і розтягненням шарів у вертикальному напрямку виникають т.зв. зсувні переміщення і як наслідок деформації, що мають місце і у вертикальному напрямку. Процес залучення шарів бетонної суміші в коливання відбуватиметься не миттєво, а з запізненням по відношенню до попередніх шарів бетонної суміші внаслідок їх інертності. У рамках моделі бетонної суміші, приведеної в [7], прийнято, що бетонна суміш є квазіоднорідним середовищем і здійснює коливання шару висотою h . Якщо позначити через $u(x,t)$ переміщення шару суміші з абсцисою x в момент часу t , то її диференціальне рівняння вимушених коливань з врахуванням розсіювання енергії було прийнято у вигляді:

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2 \cdot (1 + i \cdot \gamma)} \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + g, \quad (1)$$

де $\partial^2 u / \partial t^2$ і $\partial^2 u / \partial x^2$ – відповідно прискорення суміші і друга похідна від деформації $\varepsilon = \partial u(x,t) / \partial x$; $i = \sqrt{-1}$; c – швидкість поздовжніх хвиль, які поширюються в шарі бетонної суміші, що має модуль пружності E і щільність ρ , $c = \sqrt{E/\rho}$; γ – коефіцієнт втрат, який характеризує розсіювання енергії; $\gamma = \Delta W / 2\pi \cdot W$; ΔW – енергія, поглинена елементарним шаром бетонної суміші за період коливань; W – потенційна енергія деформації цього шару; g – прискорення вільного падіння. Рівняння (1) вирішувалося у відповідності до процесів і машин (рис1) для визначених граничних умов.

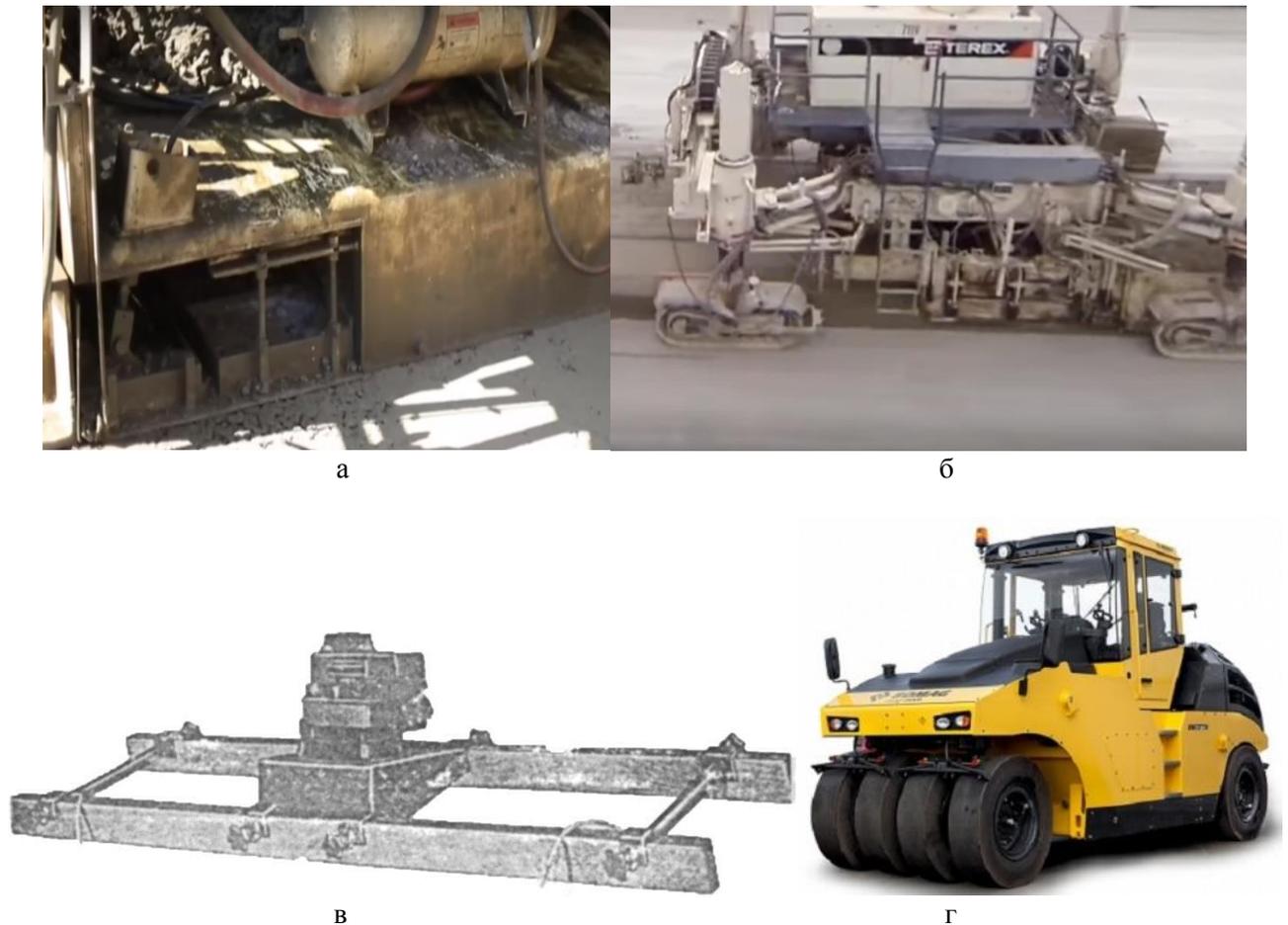


Рис.1. Машини для ущільнення цементобетонного покриття автомобільної дороги: а- вигладжування та часткове ущільнення плитою бетоноукладача; б- вібраційне грамбування та вигладжування поверхні ущільнення; в- віброрейка; г- коток.

Методика розрахунку режимів та основних параметрів полягає в наступному. Так, частота власних коливань вібропристрою, що лежить на суміші, визначається за формулою:

$$1. \quad \omega_g = \sqrt{\omega_{0g}^2 + c_0 / m_0}, \quad (2)$$

де ω_{0g} – частота власних коливань вільно лежачого пристрою; c_0 / m_0 – квадрат частоти вільних коливань маси m_0 , що лежить на бетонній суміші, яка має коефіцієнт пружності c_0 .

Частота власних коливань пристрою визначається за формулою:

$$2. \quad \omega_{0g} = \frac{a_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності, Н/м²; J – момент інерції перетину пристрою щодо осі, перпендикулярної до площини вигину, м⁴; l – довжина балок пристрою, м; m – маса одиниці довжини балки, кг/м.

Максимально допустимий крок між вібраторами:

$$3. \quad l_{\max} = 3\sqrt[4]{EJ / \rho\omega^2}, \quad (4)$$

де ρ – погонна щільність; ω – кутова частота вимушених коливань.

Самосинхронізація двох вібраторів, що встановлюються на балках пристрою, забезпечується виконанням наступної умови:

$$4. \quad (\lambda^2 - 1)\cos(\alpha_1 - \alpha_2) \gg 0, \quad (5)$$

де λ – співвідношення власних ω_g до вимушених ω коливань вібропристрою; α_1, α_2 – фази коливань першого і другого вібраторів відповідно.

Стійкість роботи вібропристрою забезпечується умовою:

$$5. \quad \alpha_1 - \alpha_2 = \text{const}; \quad \omega_g > \omega. \quad (6)$$

Список літератури

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати та комплекси – К.: Будівельник, 1991. –144 с.
2. Маслов А.Г., Пономарь В.М. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. – К.: Будівельник, 1985. – 128 с.
3. Руденко И.Ф. Формование изделий поверхностными виброштампами М.: Стройиздат, 1972. – 165 с.
4. Вибрации в технике : справочник: в 6 т. / ред. совет: В. Н. Челомей [и др.]. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.6 Защита от вибрации и ударов / под ред. К. В. Фролова. – 456 с.
5. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В.Н.Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела, 1981. – 509 с.
6. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнець В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Выща шк., 1985. – 168 с.
7. Назаренко И.И., Запривода А.В. Машини і обладнання поверхневого формування бетонних виробів: монографія. Київ: «Видавництво Людмила», 2021. 94 с.
8. Запривода А.В. Параметри і режими роботи вібропристрою для формування горизонтальних поверхонь. К.: КНУБА: «Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини», № 5, 2016. С.48-53.
9. Запривода А.В. Дослідження фізико-механічних властивостей бетонних сумішей при їх ущільненні вібропристроями в умовах формування плоских поверхонь.- К.: КНУБА: «Теорія і практика будівництва», №, 2015. – С.27-31.
10. Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Iryna Bernyk, Ivan Rogovskii, Andrii Bondarenk, Andrii Zapryvoda, Volodymyr Slipetskyi, Liudmyla Titova. Determining the regions of stability in the motion regimes and parameters of vibratory machines for different technological purposes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 6, No 7 (108). P. 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.

DEVELOPMENT OF METHODS OF CALCULATION AND CREATION OF ENERGY-SAVING MACHINES FOR SURFACE SEALING OF BUILDING MIXTURES

Andriy Zapryvoda

Abstract. *The working processes of compaction of construction mixtures by surface machines - vibrating devices and vibrating rollers on the basis of the solution of contact interaction with sealing media are investigated. Criteria for evaluating the efficiency of working processes of compaction of construction mixtures by surface machines are proposed. During loading, the stress state of the mixture increases, and during unloading decreases. In some cases, unloading does not occur immediately after loading, ie the maximum stress state of the mixture is maintained for some time. The parameters of cyclic loading include the maximum value of stress, the rate of change of stress and the total time during which the building mixture is under load. The rate of change of the stress state is accepted as the main criterion and is the first derivative of stress. Numerical values of the rate of change of the stress state for different sealing modes are obtained. Algorithms are proposed and methods of calculation of surface compaction machines are developed, the implementation of which allows to provide the effective mode of the working process set by the technology.*

Keywords: *vibrating device, roller, model, building mix, consolidation, modes, parameters, energy, technique, calculation.*

УДК 693.1

Розробка механізованого технологічного модуля для монолітного будівництва

Юрій Заєць

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. *З метою підвищення ефективності будівельних робіт а саме виконання монолітних робіт використовують опалубні системи. Їх механізація дозволяє підвищити продуктивність на майданчику. Окрім цього, самопідйомні системи дозволяють значно зменшити використання важких кранових механізмів. Розроблено конструкцію самопідйомної опалубки, що має можливість переміщуватись вздовж вертикальних конструкцій. Така конструкція окрім бетонування повного контуру дозволяє виконувати нашарування бетону тонкими шарами.*

Ключові слова: *монолітне будівництво, ковзна опалубка, механізація ручних процесів.*

Поняття технологічний модуль використовується для опису невизначеної технічної системи, яка призначена для виконання конкретних функцій забезпечення потреб. При виконанні монолітних робіт технологічними модулями виступають опалубні системи.

Опалубка – вертикальна або горизонтальна форма, яка визначає форму майбутньої конструкції з подальшим закладанням у неї бетонної суміші [1].

Конструктивно опалубка складається з окремих, знімних частин, які з'єднані засобами спеціальних кріпильних конструкцій (зв'язків), що утримують їх разом в проектному положенні до подачі суміші, під час подачі і на весь час її затвердіння. Дані кріпильні елементи прийнято називати лісами [2].

Суміш подають в закріплену опалубку з завершеним арматурним каркасом в середині, або каркас втоплюють методом вібрації [2].

На сьогоднішній день існує багато видів матеріалів і сучасні опалубки виконуються також з того чи іншого матеріалу, в залежності від його призначення [39]. Матеріали для виготовлення опалубки можна перерахувати і вийде такий перелік опалубок:

- дерев'яна/деревометалева опалубка;
- металева опалубка;
- залізобетонна опалубка;
- гумова/тканинна (надувний) опалубка;
- пластмасова опалубка;
- армоцементна опалубка.

Конструкції опалубки мають різні продуктивності і потребують різної кількості працівників, наявності спеціальної техніки і часу на установку опалубки/демонтаж її.

Однією з прогресивних технологій в будівництві монолітних залізобетонних конструкцій є технологія ковзної або рухомої опалубки. Вона застосовується як в зведенні окремих конструкцій будівель таких, наприклад, як стін, перегородок, ядер жорсткості, ліфтових шахт та ін., так і цілком будівель, здебільшого висотних з мінімальною кількістю віконних і дверних прорізів, закладних деталей і елементів.

Ковзна опалубка рухлива, її піднімають вгору без перерви в бетонуванні. Основною перевагою при зведенні таких об'єктів за допомогою ковзної опалубки є значне підвищення темпів будівництва, зниження трудомісткості та вартості.

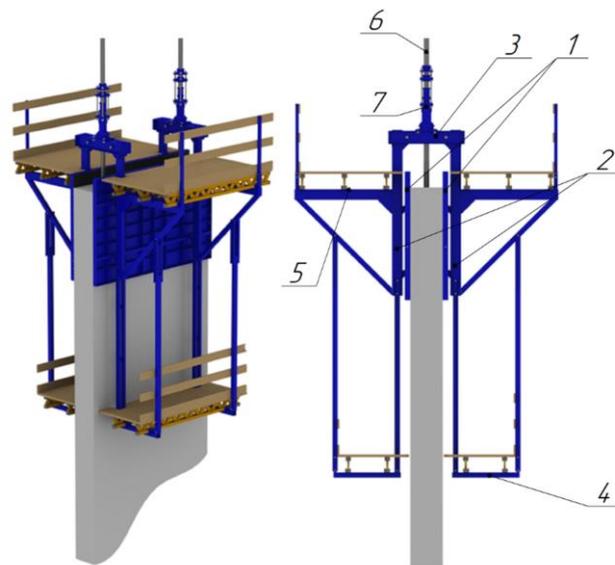


Рис 1. Ковзна опалубка

Ковзна опалубка являє собою конструкцію з двох щитів 1, які закріплені між стійками домкратної рами 2 на відстані рівній товщині стіни (Рис. 1). Щити для опалубки збираються або з металевих деталей, або з вологостійкого дерева та можуть бути плоскими або криволінійними.

Домкратні рами охоплюють всю щитову конструкцію по периметру у верхній її частині (Рис. 1). Рама складається із жорстко скріплених ригеля 3 і двох стійок 2, а у місцях примикання і перетину стін застосовують рами відповідно з трьома і чотирма стійками. До домкратних рам з зовнішньої і внутрішньої сторони підвішуються підмостки 4, а поверх встановлюється робочий настил 5. Вони служать для розміщення робітників при заливці бетону, армуванні, виправленні дефектів бетонування, вилученню закладних деталей.

Інтенсивність бетонування залежить від темпу арматурних робіт, використовуваної технології укладання бетонної суміші і тривалості витримання бетону до набору ним розрахункової міцності. Оптимальну швидкість підйому ковзної опалубки визначають з умови досягнення бетоном розпалубночної міцності при мінімальному її зчепленні з палубою [3]:

$$V_{\text{оп}} = \frac{H_{\text{оп}} - a - h_{\text{сл}}}{t_p},$$

де $H_{\text{оп}}$ – висота опалубки, см; a – відстань від укладеного бетону до верху опалубки, см; $h_{\text{сл}}$ – висота шару бетону, що укладається, см; t_p – час набування бетоном розпалубночної міцності, год.

Ця швидкість становить 1 ... 4 см / хв. При такій швидкості достатньо часу для виконання всього циклу бетонування - установки арматури, закладних частин і елементів, нарощування домкратних стрижнів, укладання і ущільнення бетонної суміші [2].

Запропонована самопідйомна опалубка система (рис.2) складається з двох піврам, що встановлюються по довжині пілону [4]. Піврами складаються з вертикальних рам, зверху та знизу яких встановлені натяжні та обвідні ролики. Невколо роликів розміщена стрічка, що утворює разом з напрямними щитами бетонувальний контур пілону.

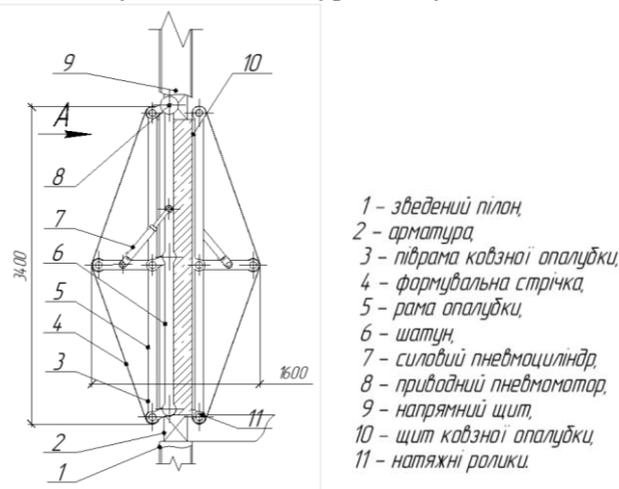


Рис.2. Самопідйомна опалубка система

Для можливості обв'язування арматурних стержнів перекриття з пілонами та стінами, на висоті перекриття в зоні бетонування пілонів встановлюємо елементи, що запобігають проникненню бетону в зону бетонування (наприклад листи пінополістіролу, що після бетонування випаляються горілками).

Варіант використання самопідйомної опалубки наведено на рис. 3.

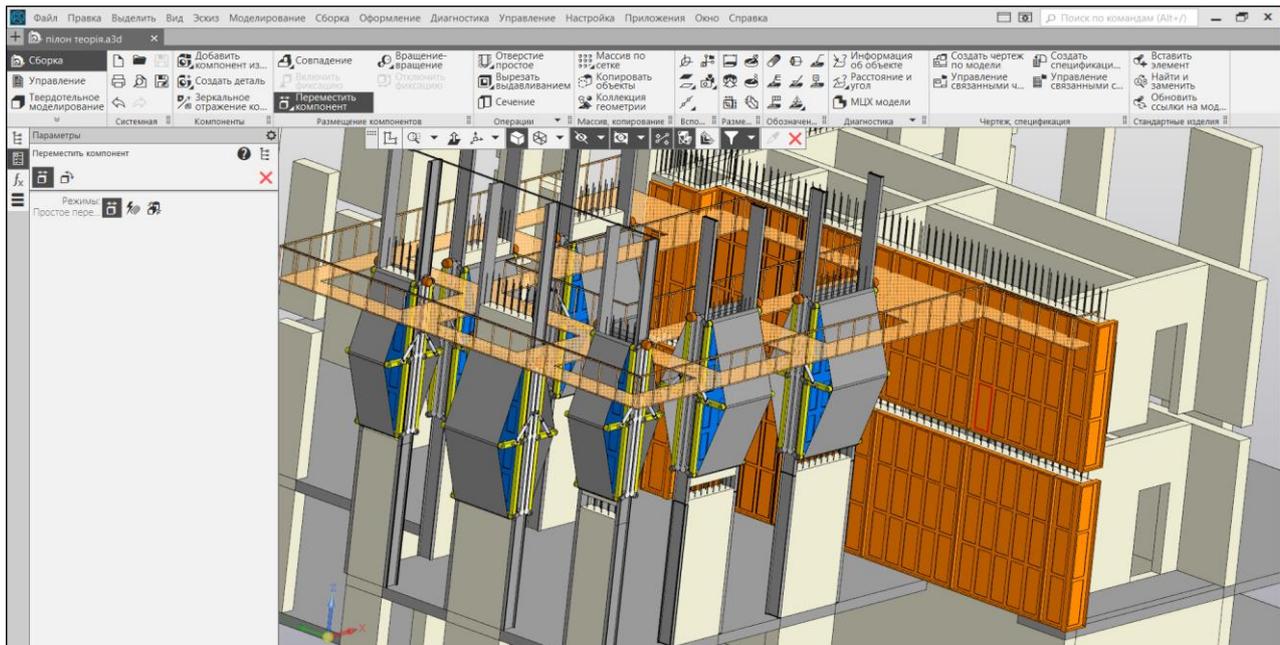


Рис. 3. Моделювання використання самопідійомної опалубки.

Висновки:

Використання самопідійомної опалубної системи для зведення вертикальних конструкцій має ряд переваг:

- Зменшується питома частка трудомісткості монтажу/демонтажу опалубних систем при зведенні багатопверхових будівель;
- Покращується поверхня бетонованої конструкції завдяки плавному відриванню формуючої стрічки від конструкції;
- Підвищується показник рівня механізації будівельних операцій;
- Зменшується використання важкої кранової техніки.

Список літератури

1. *Технологія монтажу будівельних конструкцій: навч. посіб. / В.К. Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачев, К.В. Черненко та ін.; за ред. В.К. Черненка. – К.: Горобець Г. С., 2010. – 372 с.*
2. *Тонкачев Г.М. Функционально-модульная система формирования комплектов строительной оснастки, 2012. – 158 с*
3. *Технологія влаштування пілонів каркасних багатопверхових будівель в самопідійомній опалубній системі. Шарапа С. Дис. на здоб ступ. канд. техн. наук. К., КНУБА. 2015 – 180 с.*
4. *Вертикально-рухома опалубка. Тонкачев Г.М., Рашиківський В.П., Лепська Л.А. Патент України № 94543 У. Бюл. № 22, 25.11.2014.*

DEVELOPMENT OF MECHANIZED TECHNOLOGICAL MODULE FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION

Yuri Zayets

Abstract. In order to increase the efficiency of construction work, namely the implementation of monolithic works using formwork systems. Their mechanization allows to increase productivity on the site. In addition, self-elevating systems can significantly reduce the use of heavy crane mechanisms. A self-elevating formwork structure has been developed that can move along vertical structures. This design, in addition to concreting the full contour, allows you to perform layering of concrete in thin layers

Keywords: monolithic construction, sliding formwork, mechanization of manual processes.

УДК 693.1

Дослідження робочих процесів групових будівельних кондукторів

Володимир Рашківський, Яна Дмитрук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** Використання функціональних технологічних модулів у вигляді кондукторних систем для монтажу колон – перспективний напрямок розвитку технології зведення вертикальних будівельних конструкцій. Застосування в новій технології зведення перспективних рішень у вигляді функціональних модулів дозволяє отримати покращені показники технологічних операцій та досягти нових економічних ефектів.*

***Ключові слова:** кондуктор для монтажу колон, функціональний технологічний модуль, технологія монтажних робіт*

Процес зведення будівельних конструкцій – один з найбільш енергоємних будівельних процесів. З ростом об'ємів будівництва зростає питома частка вантажопідйомних машин в ході будівництва. Використання механізованих функціональних механізованих модулів – один з пріоритетних напрямів зниження затрат на будівництво. Досить розповсюдженим на сьогоднішній день при монтажі будівельних елементів є використання механізованих модулів, що дозволяє зменшити питому частку використання важких вантажопідйомних машин при вивірці будівельних елементів та їх фіксації.

Ефективність використання комплектів технологічної оснастки оцінюється шляхом зіставлення техніко-економічних показників, отриманих з огляду на всі стадії будівництва. Характеризувати оснащення як ефективне можна тільки за сукупними витратами на всіх стадіях будівництва.

Витрати машинного часу будівельних кранів безпосередньо залежать від застосовуваної оснастки. Так в кранових витратах часу велика частина робочого циклу доводиться на підйом, переміщення і установку засобів оснащення. Іноді для установки однієї конструкції будівлі крану необхідно виконувати два або три робочих циклу, з яких тільки один припадає на продуктивну роботу. З огляду на те, що переміщується оснащення легше монтується, використання кранів за вантажопідйомністю знижується, а продуктивність процесу падає на 40..50%, що робить таку технологію малоефективною. Приблизно 15 ... 30% вартості експлуатації основних машин припадає на експлуатацію технологічного оснащення [1].

Складність пристосувань [1] впливає на показник вартості їх експлуатації (рис. 1). До першої групи складності з мінімальною вартістю години експлуатації слід віднести прості пристосування з вартістю експлуатації до 3...5 грн / год. До другої - оснащення просте з вартістю експлуатації 6...16 грн/год. Відповідно до третьої, четвертої, і п'ятої груп складності слід віднести оснащення просте механізоване, механізоване середньої складності і складне з вартістю експлуатації від 17 до 61 грн/ год. Механізоване особливо складне оснащення відноситься до шостої групи (оснащення типу маніпуляторів або роботів маніпуляторів) з вартістю машино-години більше 62 грн / год.

Ступінь оснащеності залежить в свою чергу від кількості оригінальних пристосувань, їх компоновок в комплекті інструменту та кількості одиниць пристроїв кожного виду в цьому комплекті. Ступінь оснащеності може визначатися коефіцієнтом оснащеності. Коефіцієнт оснащеності - відношення числа найменувань оригінальних пристосувань до числа монтованих видів конструкцій в будівлі [1].

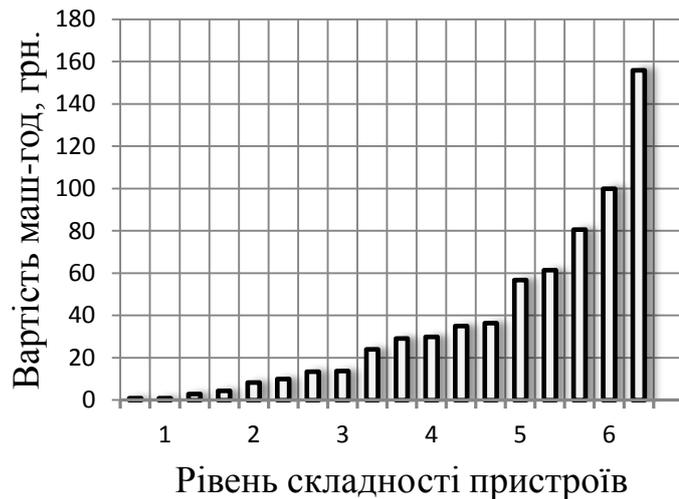


Рис. 1. Поділ пристосувань на групи за рівнем їх складності та вартості машино-години експлуатації.

Механізація процесів з метою зниження затрат ручної праці і підвищення його продуктивності призводить до збільшення категорії складності пристроїв. При цьому збільшується трудомісткість проектних робіт і трудомісткість виготовлення пристосувань (рис. 2).

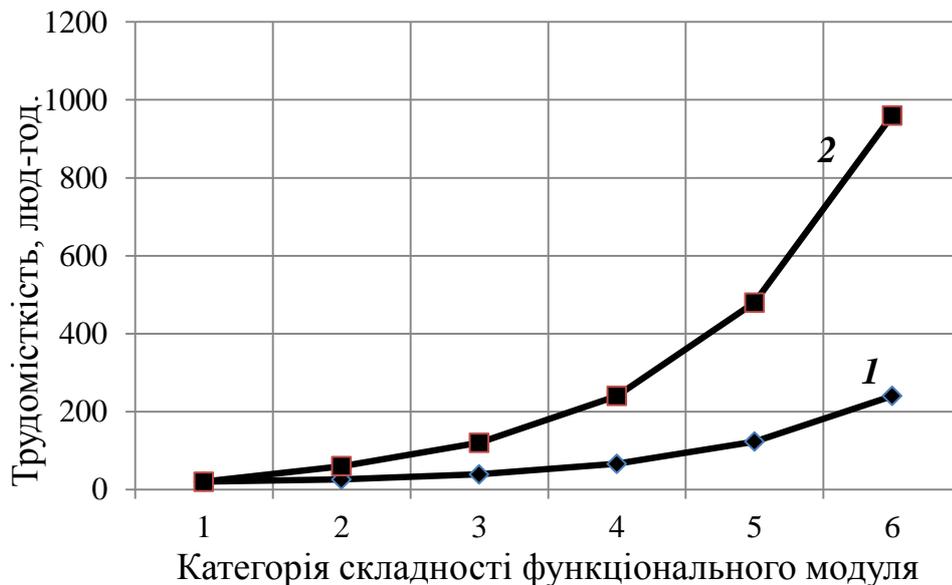


Рис. 2. Графіки залежностей трудомісткості проектування і виготовлення пристосувань від їх складності: 1 - трудомісткість проектування пристосувань; 2 - трудомісткість виготовлення пристосувань;

Впровадження роботизованих технологій забезпечує скорочення використання ручної праці, підвищення продуктивності та якості будівництва, перехід до технологій з мінімальним числом виконавців [2]. Сучасні баштові та стрілові крани технічно не пристосовані до зведення будівель з високим рівнем механізації, тому в даний час найбільш поширені засоби у монтажників залишаються монтажний лом, підкіс, схил, а також найпростіші пристосування.

Застосування напівавтоматичних кондукторів значно скорочує тривалість операцій вивіряння і тимчасового закріплення конструкцій. Групові кондуктори із звичайними сполучними елементами забезпечують стійкість монтажних конструкцій за рахунок розвиненої бази і великої власної маси (до 6 т).

Груповий кондуктор з верхньою рухомою рамою (рис. 3, а) забезпечує точне наведення захоплювачів в проектне положення. На рамі є дві подовжні і дві поперечні балки, сполучені між собою шарнірами в правильний чотирикутник. Подовжні балки спираються на «столики» поперечних, які спираються шарнірно на просторову раму кондуктора. При вивірянні рухому раму можна переміщати відносно нерухомої на ± 100 мм в двох напрямках. На захоплювачах встановлені

кутові упори, які фіксують колони по їх гранях. Кондуктор має систему подмостей, призначених для прийому і зварки колон, ригелів і зв'язувальних плит.

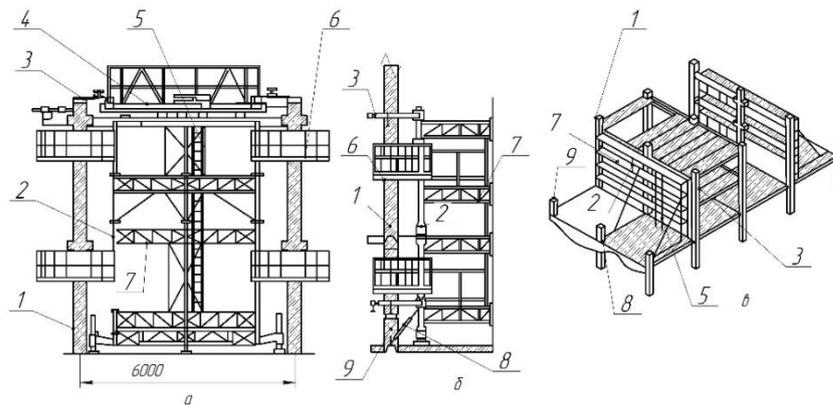


Рис. 3 Груповий кондуктор

Плоскі групові кондуктори застосовують для монтажу колон вздовж одного ряду по кроках або прольотах. Їх власну стійкість забезпечують додатковими підкошуваннями, встановлюваними в площині найменшої жорсткості кондуктора. Нижніми кінцями підкошування закріплюють за оголовки колон сусіднього ряду (рис. 3, в). У комплекті рекомендується застосовувати два кондуктори, здійснюючи монтаж колон в протилежних напрямках вздовж будівлі, починаючи з зв'язного блоку. Така технологія дозволяє одночасно з подмостей кондукторів монтувати і плити перекриття. Монтаж рядів торців колон здійснюється при установці кондукторів всередині осередків. Плити останніх осередків монтуються без кондукторів.

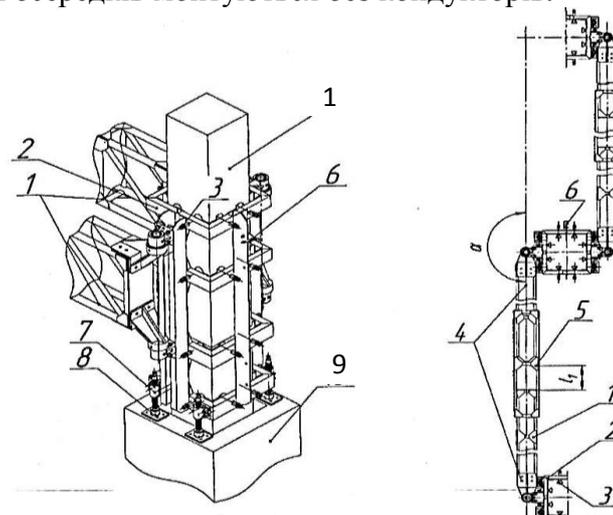


Рис. 4. Приклад використання компонування модулів для переміщення оснащення способом повороту дволанкових маніпуляторів механізмів навколо точкових шарнірів: 1 - ланки механізму маніпулятора для повороту; 2 - захоплення рамного типу; 3 - фіксатори механічні з гвинтовими зажимами; 4 - телескопічні вставки ланок; 5 - фіксатори телескопічних вставок; 6 - замки; 7 - опорні регулятори; 8 - опорна пластина; 9 - опорна конструкція; 10 - монтowana конструкція.

Розроблена конструкція групового кондуктора [3] була виготовлена та випробувана в Києві (рис. 4). Впровадження проводилося на будівництві торгово-розважальних центрів по збірному варіанту каркасного будинку в обласних містах України.

При повороті ланок маніпулятора сила, що прикладається для повороту, не перевищувала 100 Н, що значно менше, ніж в попередніх зразках. Прогин на вільному тримачі не перевищив розрахункового.

Це дозволило зменшити чисельність ланки монтажників на одного робітника. Маса всього пристосування склала 740 кг. На установку кондуктора в першу позицію витрачено 18 хв, а роботу

в циклі -14 хв. При відпрацюванні моделі кондуктора на технологічність визначено напрями вдосконалення конструкції пристосування: слід удосконалити замки тримачів; змінити зі спрощенням конструкцію телескопа. Попередньо, після таких змін очікувана маса модулів буде знижена до 600 кг.

Список літератури

1. *Технологія монтажу будівельних конструкцій: навч. посіб.* / В.К. Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачєєв, К.В. Черненко та ін.; за ред. В.К. Черненка. – К.: Горобець Г. С., 2010. – 372 с.
2. *Механізація трудомістких процесів: навч. посіб.* / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Смірнов, Л.Є. Пелевін та ін. – К.: КНУБА, 2006. – 180 с.
3. *Кондуктор для монтажу колон.* Тонкачєєв Г.М., Рашківський В.П. Патент України № 88730. Бюл. № 21, 10.11.2009.

RESEARCH OF WORK PROCESSES OF GROUP CONSTRUCTION CONDUCTORS

Volodymyr Rashkivskiy, Yana Dmytruk

Abstract. *The use of functional technological modules in the form of conductor systems for the installation of columns is a promising direction for the development of technology for the construction of vertical building structures. The use of advanced solutions in the form of functional modules in the new technology allows to get improved performance of technological operations and achieve new economic effects.*

Keywords: *conductor for mounting columns, functional technological module, installation technology.*

УДК 621.878.23-182.38

Зменшення енергоємності процесу різання ґрунтів землерийною технікою з просторово орієнтованим робочим органом

Володимир Рашківський, Богдан Федішин

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Використовуючи наукові праці проведено дослідження кінематичних умов та енергоємності при різанні ґрунтів просторово орієнтованими ножами динамічної дії землерийних машин. Головним способом механічної розробки ґрунтів являється різання з відокремленням стружки. Класифіковано для яких геометричних умов відповідає певний вид різання з відокремленням стружки. Основними характеристиками процесу копання є геометричні, кінематичні, силові й енергетичні параметри. Сила різання становить істотну частину сили копання. Коливання сили відбувається в результаті періодичності відділення елементів зрізу і непостійності геометричних і кінематичних параметрів процесу. Встановлено параметри руху і роботи косоного клина, та проаналізовано результати експерименту професора В.М. Смірнова з використанням різання ґрунтів косокутними ножами з різними кутами різання та кутами повороту в плані. Щоб забезпечити максимальну зону руйнування в бокових частинах можна використовувати двогранні ножі які знижують навантаження на робочий орган та зменшують енергоємність розробки ґрунтів. Розроблена робоча гіпотеза.

Ключові слова: косокутне різання; копання ґрунтів; просторово орієнтований; енергоємність; стружкоутворення.

Удосконалення систем та комплексів землерийних машин, направлене на, вирішення проблем зв'язаних з інтенсифікацією будівництва, зменшення енергоємності та збільшення продуктивності [3].

Копання ґрунтів є однією з найбільш енергоємних операцій землерийних машин на будівництві. Тому, актуальним являється питання, визначення енергоємності копання та кінематики руху, робочого органа з просторово орієнтованим ножем динамічної дії. Одним з показників є стружкоутворення, але сигналізує як протікає процес різання ґрунту.

Великий вплив на енергоємність копання роблять геометричні умови та конструкція робочого органа.

Основним способом механічної розробки ґрунтів являється, різання з відокремленням стружки. При цьому способі розробки ґрунтів також є різновиди в залежності від геометричних умов.

Основними геометричними умовами відокремлення ґрунтової стружки, визначаються різновидами способів механічної розробки ґрунтів, пропонується вважати положення кромки ріжучого клина відносно напрямку різання і поверхні масиву, обриси ріжучої кромки, обриси і кількість робочих поверхонь ріжучого клина, число поверхню так званого бокового зрізу і так званих блокованих поверхонь зрізу. По цим признакам виділені різновиди процесу і створена класифікація видів різання з відокремленням стружки (таб. 1).

При роботі землерийної машини її виконавчий механізм взаємодіє із ґрунтом, руйнуючи й відокремлюючи його від масиву. Основними характеристиками процесу копання є геометричні, кінематичні, силові й енергетичні параметри а також показники, що визначають фізичні особливості руйнування ґрунту, і властивості ґрунту як об'єкта взаємодії, конструкції робочого органа й умов взаємодії робочого органа з ґрунтом.

Таблиця 1

Класифікація видів різання з відокремленням стружки

Признак класифікації	Вид різання з відокремленням стружки
По положенню ріжучої кромки інструмента відносно напрямку різання	Прямокутне, косокутне
По обрисам робочої поверхні ріжучого клина	Плоским клином, криволінійним клином
По обрисам ріжучої кромки	Клином з прямолінійною, криволінійною або ломаною ріжучою кромкою
По числу робочих поверхонь ріжучого клина	Клином з однією, двома або декількома робочими поверхнями
По положенню ріжучої кромки відносно поверхні масиву	Паралельно поверхні масиву, під прямим кутом, під косим кутом до неї
По числу поверхонь зрізу	З однією, двома або трьома поверхнями зрізу
По числу блокованих поверхонь зрізу	Блоковане, вільне, напівблоковане

Робочий орган землерийної техніки долає комплекс опорів ґрунту, який називається опором копанню. Сила, що прикладається до робочого органу для подолання цього опору по дотичній траєкторії руху, називається силою копання, а по нормалі до траєкторії – нормальною силою копання. Установлено що сила різання становить істотну частину сили копання, а в ряді випадків – переважну частину.

Сила різання, в той же час є найбільш змінною її частиною в часі. Це внаслідок коливальної природи процесу різання. Коливання сили відбувається в результаті періодичності відділення елементів зрізу, варіації міцнісних властивостей ґрунтів, непостійності геометричних і кінематичних параметрів процесу, а також інших факторів.

Особливість процесу копання полягає в тому, що його силові й енергетичні показники залежать від кінематичних умов, та від геометричних параметрів – товщини, ширини і площі зрізу, а також від кутів орієнтації робочого органа в просторі.

Руйнування ґрунтів і середовищ при різанні ножами супроводжується формуванням стружки, відокремлюваної від масиву. Стружка є свого роду відбивачем внутрішніх змін у матеріалі. Тому характер й особливості утворення стружки здобувають значення як засіб для пояснення процесу й відшукування способу керування ним. Одним з ознак процесу різання ґрунтів є тип стружкоутворення [1].

Характер стружкоутворення в ґрунті може змінюватися залежно від геометричних умов процесу різання. Відомо, що при прямокутному блокованому різанні ґрунтів зі зміною глибини

(товщини) зрізу спостерігається зміна видів стружкоутворень у того ж самого ґрунту. При тонких зрізах утворюється зливна стружка, але після збільшення товщини зрізу починає відокремлюватися стружка ступінчаста й елементна. При деякій глибині зрізу руйнування супроводжується утворенням одного великого елемента у лобовій поверхні ножа, тобто ширина зрізу й ширина елемента стають рівними.

Пояснення полягає в тому, що процес різання із пластичним деформуванням ґрунту в межах всієї товщини зрізу переходить у процес різання із пластичним деформуванням тільки частини ґрунту відокремлюваного елемента. Це явище знайшло підтвердження в серії дослідів по різанню досліджуваних ґрунтів ножами з кутом повороту в плані 0° ; $22^\circ 30'$; 45° й $67^\circ 30'$.

Досліди показали, що при різних кутах різання ґрунтова стружка формується по-різному. При куті різання 30° між наступними відділеннями від масиву двох великих елементів стружки (характерною рисою їх є пересічення поверхні відділення з горизонтальною поверхнею масиву) відокремлюються також дрібні елементи стружки. Число проміжних елементів стружки в 3-5 разів більше числа великих елементів, у той час як маси їх перебувають у співвідношенні 1:7-1:10.

Збільшення кута різання до 50° супроводжується зменшенням числа проміжних елементів стружки й ростом їхньої маси. При куті різання 70° поверхні відділення всіх елементів стружки перетинаються з горизонтальною поверхнею масиву, а при куті різання 90° маса елементів, що відокремлюються, практично постійна або утворюється зливна стружка.

Таким чином, з ростом кута різання зменшується об'єм ґрунту, що відокремлюється від масиву, зростають у ньому пластичні деформації, виникають витрати енергії на деформування масиву під різальною кромкою ножа, енергоємність різання збільшується.

Неодноразовість відділення елементів стружки виникає у випадках, коли ширина ножа (при незмінній ширині зрізу) у багато разів перевищує товщину зрізу. У тих випадках, коли ширина ножа порівнянна з товщиною зрізу або менше товщини зрізу, це явище не виникає.

Внаслідок неодноразовості відділення елементів стружки по ширині зрізу збільшується коефіцієнт енергоємності. Відбувається це тому, що максимумами сил різання зменшуються, а мінімуми їх зростають. Через більше здригнування ґрунту збільшується також енергоємність процесу різання.

Було знайдено закономірності при зміні кутів різання й повороту ножа в плані, що доцільно надавати різальному інструменту землерийних машин кута різання не більше $35-40^\circ$ і кута повороту в плані не більше $30-45^\circ$ для найбільш продуктивного різання ґрунту.

Для зменшення енергоємності процесу різання, різальні частина робочих органів землерийних машин варто надавати форму і розміри при яких забезпечується максимальна зона руйнування в бокових частинах, ці умови задовольняють косокутні ножі з кутом повороту в плані на $22^\circ 30' \dots 45^\circ$ енергоємність процесу знижується на 15-30%. Щоб забезпечити максимальну зону руйнування в бокових частинах можна використовувати двогранні ножі які знижують навантаження на робочий орган за рахунок того що блокуване різання стає подібне на напівблокуване. [2].

Робоча гіпотеза базується, на тому що рух просторово орієнтованого ножа, буде здійснюватись поздовжньо – поступальним рухом, перпендикулярно до траєкторії руху робочого органа. Що схематично зображено на рис. 1.

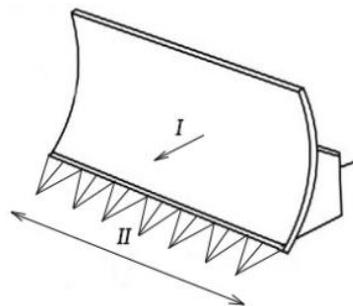


Рис. 1. Схематичне зображення траєкторій руху робочого органа:

I) траєкторія руху робочого органа; II) траєкторія руху просторово орієнтованого ножа динамічної дії.

На нашу думку, дане переміщення робочого органа і просторово орієнтованого ножа динамічної дії повинно створювати дві сили різання, які паралельні до траєкторій руху. При розробці ґрунтів, дані сили будуть об'єднуватись в сумарну силу різання, рис. 2.

Тому від геометричних параметрів як кут повороту в плані, не більше 30-45°, просторово орієнтованим ножем динамічної дії, будуть залежати сили різання, які виникають при взаємодії з ґрунтом, та характер стружкоутворення і в цілому на енергоємність копання та для найбільш продуктивного різання ґрунту.

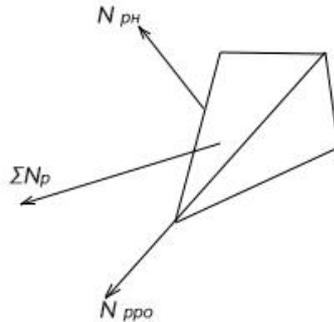


Рис. 2. N_{pn} – сила різання просторово орієнтованим ножем динамічної дії; N_{ppo} – сила різання паралельно траєкторії руху робочого органа; ΣN_p – сумарна сила різання

Очікується, що динамічний рух двогранного ножа не суттєво вплине на ущільнення ґрунту по траєкторії свого руху, а навпаки спричинить відокремлення його шляхом підрізання, цим самим полегшуючи відокремлення стружки та зменшення енергоємності процесу різання.

Ідея робочої гіпотези ефективності роботи просторово орієнтованого ножа підлягає наступному геометричному моделюванню.

Список літератури

1. Ветров Ю.А. *Резание ґрунтов землеройными машинами.* – М.: Машиностроение, 1971 – 357 с.
2. Смірнов В. М. *Основи теорії різання ґрунтів просторово орієнтованими ножами землерійних машин / К.: «МП Леся», 2009 – 260 с.*
3. Хмара Л.А., Балонев В.И. *Повышение производительности машин для земляных работ.* – К.: Будівельник, 1988. – 152 с.

REDUCTION OF ENERGY SUPPORT OF THE PROCESS OF SOIL CUTTING BY EARTH TECHNIQUE WITH SPATIALLY ORIENTED WORKING AUTHORITY

Volodymyr Rashkivsky, Bohdan Fedyshyn

Abstract. *Using scientific works, the study of kinematic conditions and energy consumption when cutting soils with spatially oriented knives of dynamic action of earthmoving machines was carried out. The main method of mechanical soil development is cutting with chip separation. It is classified for which geometrical conditions a certain type of cutting with chip separation corresponds. The main characteristics of the digging process are geometric, kinematic, power and energy parameters. The cutting force is an essential part of the digging force. Fluctuations in force occur as a result of the periodicity of the separation of the elements of the cut and the inconsistency of the geometric and kinematic parameters of the process. The parameters of the motion and operation of the oblique wedge are established, and the results of the experiment of Professor V.M. Smirnova using cutting the soil with oblique knives with different cutting angles and angles of rotation in the plan. To ensure the maximum zone of destruction in the side parts, you can use dihedral knives that reduce the load on the working body and reduce the energy consumption of soil development. Working hypothesis developed.*

Keywords: *oblique cutting; digging soils; spatially oriented; energy consumption, chip formation.*

УДК 62-93

Розробка адаптивної рухомої противаги одноківшевого екскаватора

Володимир Рашківський, Олексій Проскурін

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

***Анотація.** Представлені результати аналітичного дослідження дії динамічних навантажень на обладнання одноківшевого екскаватора, виконано аналіз попередніх досліджень. Розглянута динамічна та статична стійкість проти перекидання. Описана доцільність використання адаптивної рухомої противаги для одноківшевих екскаваторів. Наведені приклади використання рухомої противаги в інших машинах.*

***Ключові слова:** статична стійкість; динамічна стійкість; утримуючий момент; перекидний момент; рухома противага.*

Основними машинами, які забезпечують механізацію робіт, є екскаватори. На них долю приходиться 60% всього об'єму земляних робіт.

Більше 90% в нашій країні виконують роботу універсальними екскаваторами. Універсальними одноківшевими екскаваторами виконують роботу на кар'єрах, будівельних майданчиках та в міських умовах. Широко використовуються для розбирання завалів будівель та споруд після катастроф, аварій та бойових дій

Універсальні екскаватори можуть виконувати роботу вище та нижче рівня своєї стоянки робочим обладнанням прямої та зворотної лопат чи за допомогою додаткового змінного обладнання.

Крім того, універсальними одноківшевими екскаваторами з крановим, вантажним і іншими видами змінного робочого обладнання виконується великі об'єми вантажно-розвантажувальних, монтажних і інших робіт, пов'язаних з механізацією важких і трудомістких процесів.

На гідравлічних екскаваторах під час роботи реалізовується на зубах та ріжучій частині ковша велике зусилля завдяки жорсткому зчленуванню елементів робочого обладнання між собою та з базовою частиною машини, працюючої щодо стійкості як єдине ціле. Це дозволяє при міцних рівних умовах навішувати на гідравлічні екскаватори ковші більшої місткості - в середньому на 60% порівняно з ковшами канатних екскаваторів. [1]

Робочий процес універсального одноківшевого екскаватора являється циклічність виконання операцій – копання і транспортування ґрунту. Під час робочого процесу виникають статичні та динамічні навантаження на машину та механізми, які впливають на стійкість машини.

Модернізація існуючого та створення нового робочого обладнання землерийних машин є перспективним напрямом підвищення ефективності їх використання. Зокрема, при цьому, важливим є збереження стійкості машини, що зумовлене зміною специфіки робочих процесів цих машин при варіації їх робочих органів. Практично це вирішується використанням рухомої противаги на базових машинах.

ПРОБЛЕМА

Для збільшення стійкості одноківшевих універсальних екскаваторів при роботі на похилій площині та підвищення ККД машини в кар'єрах, будівельних майданчиках, при розбиранні завалів після техногенних катастроф, аварій, бойових дій потребується створення врівноважуючого механізму автоматичної дії. Особливо актуальним на даний час є розбирання завалів будівель та споруд під завалами яких знаходяться потерпілі. Виконання робіт одноківшевим універсальним екскаватором потребує своєчасного підготування робочої площадки, транспортування по нерівностях чи похилих площинах, що в даних випадках не завжди можливе чи потребує додатковий час. Все це збільшує термін та трудомісткість виконання робіт.

МЕТА РОБОТИ

Аналітичне дослідження динамічних та статичних навантажень на одноківшевий екскаватор та навісного обладнання та їх вплив.

НАУКОВА НОВИЗНА

Дослідження силових параметрів та режимів руху рухомої противаги. Створення засобів забезпечення стійкості та підвищення ефективності одноковшевого екскаватора за рахунок рухомої противаги. Дослідження адаптивної системи забезпечення рівноваги одноковшевого екскаватора.

СТІЙКІСТЬ

Здатність машини протидіяти зовнішнім навантаженням, включаючи сили тяжіння ґрунту в ковші, а також складових частин екскаватора, протидія ґрунту копанню і сил інерції, які не дають перекинутися та здвинути опорну частину екскаватора відносно ґрунтової основи називається стійкістю екскаватора. [5]

Стійкість залежить від конструктивних параметрів машини, а з іншої від дій оператора. Умовно можна відрізнити власну та керовану стійкість машини: перша залежить від конструктивних параметрів машини, а друга - від дій оператора, направлених на збереження стійкості машини в критичних ситуаціях, зміною швидкості руху чи положення машини та її робочого обладнання, така стійкість називається "активною".

Статична стійкість проти перекидання характеризується рівноважним станом машини під впливом зовнішніх навантажень, постійних за значенням та напрямом. При розрахунку статичної стійкості визначають умову, якій повинна задовольняти система сил, що навантажують машину, щоб остання знаходилася в рівновазі. Стан статичного рівноваги характеризується у своїй тим, що машина тривалий час перебуває у спокої. Порушення такого стану викликає практично миттєве перекидання машин. [6]

Здатність машини протидіяти максимальним статичним перекидним навантаженням визначає максимальну стійкість проти перекидання.

В залежності від напрямку перекидання розрізняють бокове та подовжнє перекидання.

Цілю статичного розрахунку екскаваторів є виявлення врівноваженості поворотної платформи, стійкості екскаватора, сили в роликах та захоплюючих пристроях опорно-поворотного кола, опорні реакції та тиск на ґрунт.

Врівноваження поворотної платформи досягається відповідним розміщенням всіх механізмів на поворотній платформі та вибором маси противаги.

Утримуючий момент утворюється від рівнодіючої сил тяжіння всіх частин екскаватора, що обертаються (за винятком робочого обладнання) на плечі відносно осі обертання платформи. У протилежному напрямку на платформу екскаватора діє перекидальний момент від сили тяжіння робочого обладнання з вантажем, висунутим на максимальний виліт.

Стійкість екскаватора ділять на стійкість при копанні та всі інші стани екскаватора.

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ

Боротьба зі зносом деталей та підвищення довговічності машин є найважливішими завданнями, оскільки на ремонті та міжремонтне обслуговування машин щорічно витрачаються великі кошти.

Однією з головних причин довготривалих простоїв екскаваторів на ремонтах являються руйнування і недопустимі деформації ряду деталей їх основних вузлів. Причиною цих деформацій і руйнувань, як показує аналіз, являється дійсні динамічні навантаження, діючих на вузли екскаваторів в процесі експлуатації. [6]

Вузли та елементи всіх землерийних машин піддаються впливу двох видів навантажень - постійних (вагові навантаження) і змінних (опір ґрунту на робочому органі, опір перекочування та ін.).

Зазвичай динамічні задачі зводяться до визначення максимальних навантажень, що виникають при стопорінні робочих органів або рушіїв при зустрічі з непереборною перешкодою, а також при нестационарних режимах розгону і гальмування механізмів приводу. [6]

Динамічні навантаження в елементах та вузлах землерийних машин виникають у процесі виконання ними робочих рухів (циклічних та безперервних).[7]

Характерним прикладом циклічного руху, а отже, і циклічного навантаження є робочі процеси одноковшевого екскаватора або деяких видів землерийно-транспортних машин (скрепери,

бульдозери). У кожній операції, пов'язаної з рухом землерийної машини, є розгін, рух, гальмування, що встановилося, зупинка. [7]

Для збільшення утримуючого моменту потребується збільшення плеча противаги, яка б при максимальному вилиті стріли змінювала своє положення та компенсувала момент перекидання, без суттєвого збільшення маси противаги. За рахунок зміни положення рухомої противаги навколо поворотної платформи одноківшевий екскаватор буде зберігати свою стійкість відносно похилої площини. Додаткова противага дає змогу виконувати циклічні операції на похилі площині без втрати стійкості.

Додаткові завдання в області динаміки гідравлічних екскаваторів виникають при використанні робочого обладнання ударного, віброударної або вібраційного дії. В цьому випадку необхідно розглядати не тільки взаємодія ударного або вібраційного процесів робочого органу із середовищем, а й одночасно оцінювати ступінь передачі коливальних дій на елементи конструкції екскаватора.

ЗАСТОСУВАННЯ РУХОМОЇ ПРОТИВАГИ В ІНШИХ МАШИНАХ

Рухома противага використовується в трубоукладачах, що позитивно сприяє підвищенню ефективності та збереження стійкості машини.

На рисунку висвітлений трубоукладач ТР.20.22.01. Даний трубоукладач має номінальну вантажопідйомність 20 тонн. Машина має противагу, що відкидається – це є раціональною конструкцією, тому що при роботі з вантажем противагу може бути відкинута в свою чергу збільшує вантажний момент конструкції, що зображено на рис.1 .



Рис. 1. Трубоукладач ТР20.22.01

Також є успішні розробки рухомої противаги для модернізації автокранів задля підвищення продуктивності машини. Рухома противага підвищила вантажні характеристики, без суттєвої зміни конструкції. Привід рухомої противаги являється малопотужним, таким чином, він може бути внесений в систему без заміни останніх елементів. [3]

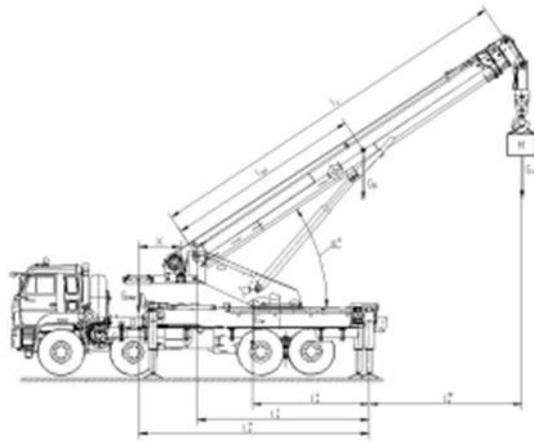


Рис.2. Корисна модель автокрана з рухомою противагою

ВИСНОВКИ

Модернізація існуючого та створення нового робочого обладнання землерійних машин є перспективним напрямом підвищення ефективності їх використання.

Статичні та динамічні навантаження суттєво впливають на техніко-економічні показники, безпеку на робочому майданчику та здатність машини виконувати роботу в складних умовах.

Стійкість залежить від конструктивних параметрів машини, а з іншої від дій оператора.

Статична стійкість проти перекидання характеризується рівноважним станом машини під впливом зовнішніх навантажень, постійних за значенням та напрямом.

Динамічні навантаження в елементах та вузлах землерійних машин виникають у процесі виконання ними робочих рухів (циклічних та безперервних).

Потребується додаткове дослідження динамічного навантаження на однокішшевій екскаватор зі змінним робочим обладнанням, вплив на основні вузли.

На підставі проведеного аналітичного аналізу пропонується використовувати один з способів протидії перекиданню однокішшевого універсального екскаватора а робочому та транспортному положенні, який полягає у використанні адаптивної рухомої противаги шляхом врівноваження поворотної платформи та машини в цілому. Рухома противага переміщується в протилежному напрямку від дії перекидних сил, чим збалансовує систему. За рахунок додаткової рухомої противаги можливо збільшити навантаження на робочий орган без втрати стійкості машини, тим самим збільшить ККД робочого обладнання. Завдяки автоматичній системі, однокішшевим екскаватором можливо працювати та переміщатися на більш похилій площині, рухома противага сама збалансує машину.

Даний метод полягає, що за рахунок рухомої противаги, можливо збільшити утримуючий момент та запобігти перекиданню екскаватора в автоматичному режимі.

Список літератури

1. *Строительные и дорожные машины и основы автоматизации : учебное пособие / И. Ф. Дьяков; /Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 516 с.*
2. *Машины для земляных работ: учеб. для вузов / Д.П. Волков, В.Я. Крикун, П.Е. Тоголин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.*
3. *Система управления подвижным противовесом автокрана / К.А. Двойнова - Челябинск: ЮУрГУ, П-266, 2018 3.*
4. *Тиунов В.А. Разработка трубоукладчика грузоподъемностью 20 т на базе серийного трактора Т-14. – Челябинск: ЮУрГУ, П; 2017, ПЗ – 106 с. 32 ил.г., 113с*
5. *Волков Д.П. 1965 Динамика и прочность однокюшшевых экскаваторов (М.: Машиностроение) p 462с.*
6. *Холодов А.М. 1968 Основы динамики землерейно-транспортных машин (М.: Машиностроение) p 155с*
7. *Холодов А.М, Ничке В.В, Назаров Л.В. 1982 p Землерейно-транспортные машины (М.:Машиностроение) 192с*

DEVELOPMENT OF EXCAVATOR'S ADAPTIVE MOVABLE COUNTERWEIGHT

Volodymyr Rashkivskyi, Oleksiy Proskurin

***Abstract.** The results of the analytical study of the effect of dynamic loads on the equipment of a single-bucket excavator are presented, the analysis of previous studies is performed. Dynamic and static resistance against overturning is considered. The expediency of using an adaptive mobile counterweight for single-bucket excavators is described. Examples of the use of movable counterweights in other machines are given.*

***Keywords:** static stability; dynamic stability; holding moment; tipping moment; movable counterweight.*

СЕКЦІЯ 2

«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ СУЧАСНОГО БУДІВНИЦТВА»

УДК 658.5

Організаційно –технологічні основи відновлення житлового фонду України

Іван Перегінець

Науково – технічний центр Академії будівництва України, Київ, Україна

Анотація. Здійснено аналіз втрат житлового фонду України в результаті агресії російської федерації, який в теперішній час складає пошкоджених ~40 млн м² житла, при цьому 2/3 пошкоджених будівель підлягають зносу. Відновлювальні роботи передбачається проводити в 15 областях України. На відновлення житлового фонду потребується близько 35 млрд доларів. Попередні орієнтовні підрахунки показали, що потребується загальної площі будинків - від 50 000 м², із них двокімнатних квартир - близько 60%, однокімнатних квартир - близько 25% трикімнатних і більше квартир - близько 15%. Орієнтована вартість будівництва 1 м² з чистовим оздобленням приміщень - близько 800 доларів. Виникає необхідність розробки державної програми про створення фонду житла. Також потребується розробка регіональних програм по створенню житлового фонду громад із визначеними джерелами фінансування будівництва житла в громадах. В короткий термін потребуються архітектурно-конструктивні та об'ємно-планувальні рішення з будівництва житла в територіальних громадах. Вирішення проблеми роботи ґрунтується на розробці проектів житла, яке забезпечує вдосконалених та розробку нових критеріїв, отриманих в результаті виконаних досліджень на основі системного, кластерного підходу та врахування інноваційних технологій, в тому числі BIM технологій. Критерієм для вибору параметрів окремих елементів конструкцій будівель стало дотримання вимог забезпечення їхньої несучої здатності й надійності, в тому числі укриття, а також експлуатаційної придатності для прийнятих під час розрахунку умов їх експлуатації. На цій основі розроблено індивідуальний будинок «Байден».

Ключові слова: житловий фонд, індивідуальний будинок «Байден», проект, технологія, інновація, матеріали, будівництво, критерії, надійність, безпечність, комфортабельність, екологічність, матеріаломісткість, джерела енергоощадності та економічність.

Розробка проекту індивідуального будинку, що дістав назву «Байден», здійснено на основі сучасних інноваційних підходів із врахуванням аналізу світового [1,2] та власного досвіду [3-7], системного підходу при створенні будинку «Optima Haus». Проектна документація індивідуального будинку «Байден» виконана на основі листа-заявки замовників: науково-технічного центру Академії будівництва України, директор Перегінець І. І. та благодійної організації «Міжнародний Будівельний Фонд «Україна», Президент Стеценко О. А.

Проект розрахований для повторного використання органами державної влади та місцевого самоврядування, організаціями та установами різних форм власності, благодійними фондами, зарубіжними партнерами при забезпеченні житлом громадян України, які потерпіли від збройної агресії російської федерації, військовослужбовців ЗСУ та інших силових структур, працівників соціальної сфери, науковців та освітян (рис.1).



Рис.1 Індивідуальний будинок «Байден»

Проектна документація розроблена ТОВ «PLANS» за участі Придніпровської державної академії будівництва та архітектури у відповідності до ДБН В.2.2-15: 2019 «ЖИТЛОВІ БУДИНКИ. Основні положення».

Головний архітектор проекту: Савицький М. В., ректор ПДАБА, доктор технічних наук, професор.

Архітектор проекту: Фасовий Д.О. директор ТОВ «PLANS».

В будинку передбачено технічне підпілля. В проекті використана технологія монолітного будівництва фундаментів та підвальних приміщень нище відмітки 0.000, як тимчасове укриття для людей під час військових дій, природних чи техногенних катастроф. При спорудженні надземної частини будинку застосовується ефективна північно-американська технологія житлового будівництва з високими показниками економічної доцільності, енергетичної ефективності, екологічності та додержання принципів здорового житла. Будинок розділений на 8 (вісім) частин з окремими входами в житлові приміщення та технічне підпілля. Згідно ст. 356 ЦКУ про спільну часткову власність, суб'єктами права на кожен з частин будинку мають право громадяни, юридичні особи, держава, органи місцевого самоврядування. Клас наслідків будинку - СС1 (незначний). Спорудження будинку має вестися за будівельним паспортом забудови земельної ділянки, що видається місцевими органами архітектури та зареєстрованим повідомленням про початок робіт в державну інспекцію архітектури та містобудування (ДІАМ).

Техніко-економічні показники будівлі:

- площа земельної ділянки - від 400 м. кв.
- загальна площа будинку (без площі технічного підпілля) - м.кв.
- площа технічного підпілля - м.кв.
- площа ганків і сходів - м.кв.

Будинок має монолітні, залізобетонні фундаменти - з технічним підпіллям кесонного типу та перекриттям підсиленої міцності. Передбачено система опалення : керамічні панелі DIMOL з цифровим програмним керуванням; тепловий насос Cooper Hunter повітря-повітря. Гаряче водо забезпечення здійснюється електричним бойлером на 100 л. для кожної частини будинку. Вентиляція приміщень здійснюється механічною припливно-витяжною вентиляцією з рекуперацією повітря VENTS (2 одиниці в кожній частині будинку) та через канали природної вентиляції кухонь та санвузлів. Електрозабезпечення будинку здійснюється від мереж населених пунктів, згідно ДБН В.2.5-23:2010 «ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ».

Критерієм для вибору параметрів окремих конструкцій стало дотримання вимог забезпечення їхньої несучої здатності, а також експлуатаційної придатності для прийнятих під час розрахунку умов їх експлуатації. Обґрунтована можливість забезпечення співвідношення зміни матеріаломісткості та економічної вартості виробничих будівель у залежності від вибраних параметрів. Достовірність даних параметрів забезпечується дотриманням діючих будівельних нормативів та прийомів проектних розрахунків

Для забезпечення екологічності використані критерії, що характеризують споживання енергетичних та матеріальних ресурсів та емісійний вплив на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу будівлі. Індикаторами, запропонованими у будинку є: споживання первинної енергії на рік та протягом всього життєвого циклу будівлі, частка регенеративних видів енергії, матеріальний потік у перерахунку на один рік і протягом всього циклу, вага придатних для повторного застосування матеріалів та викид шкідливих речовин. Як критерії економічної оцінки в роботі використано будівельну вартість, вплив будівельних витрат на експлуатаційні потреби, загальні експлуатаційні витрати та витрати, пов'язані з демонтажем будівель та утилізацією відходів. Розрахунок значень за прийнятими критеріями визначався у перерахунку на рік і за весь життєвий цикл будівлі. З урахуванням прийнятої рівнозначності екологічних, економічних та соціальних аспектів визначено загальну тенденцію до поліпшення більшості показників у будинку, розрахованих на середню тривалість життєвого циклу.

Теоретична частина обґрунтування та прийняття рішень базується на вдосконалених та на основі системного, кластерного підходу та врахування інноваційних технологій, в тому числі BIM технологій. Сутність кластерного підходу полягає в створенні синергетичного ефекту діяльності всіх членів інноваційного будівельного процесу.

Список літератури

1. Анін В.І. Оптимізація стратегій будівельної організації в ринкових умовах : монографія. К.: Ратібор, 2004. 242 с .
2. Гойко А. Ф., Скакун В. А., Сорокіна Л. В. Оптимізація управління бізнес-процесами будівельних підприємств в умовах економічної кризи. Актуальні проблеми економіки: наук. екон. журнал . 2009 . № 8 С.58-65.

3. Перегінець І. І., Савицький М. В., Куліченко І. І., Коваль О. О. Адміністративно-територіальна реформа в Україні як джерело розвитку малоповерхового житлового домобудування / Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. - 2015. - Вып. 82. - С. 149-153. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2015_82_25.
4. І.І. BIM-технології в містобудівних проектах Нового урбанізму/ ENVIRONMENTAL PROTECTIONAL-2020:колективна монографія. Київ, «Видавництво Людмила», 2020, 140 с. ISBN978-617-7828-54-8. С 54-61
5. Перегінець І. І. Наукові методи створення енергоощадних малоповерхових будівельних комплексів на основі інформаційного моделювання/ //ENVIRONMENTAL PROTECTIONAL-2021: збірник наукових праць за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому дню охорони довкілля, 5 червня 2021 року. Випуск 1.-Київ. Київського національного університету будівництва і архітектури.2021.-130 с С. 86-89.
6. Перегінець І.І. Теоретично-методологічні основи проектування будівельнульової енергії (ZEB) / Erbe der europaishen wissenschaft. Umwelshutz. Monografische Reihe. Europaishen Wissenschaft. Buch 2/ Teil 1. 2020. ISBN 978-3-9821783-3-2. Kapitel 10. С. 163-169.
7. Перегінець І. І. Кластерні форми організації будівельного виробництва в умовах розвитку соціально- економічних трансформацій сучасної України / Містобудування та територіальне планування. - 2017. - Вип. 64. - С. 560-569. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2017_64_75

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL BASIS RESTORATION OF THE HOUSING FUND OF UKRAINE

Ivan Pereginets

Abstract. *An analysis of the losses of the housing stock of Ukraine as a result of the aggression of the Russian Federation, which currently amounts to damaged ~ 40 million m² of housing, while 2/3 of the damaged buildings are subject to demolition. Restoration work is expected to be carried out in 15 regions of Ukraine. About \$ 35 billion is needed to rebuild the housing stock. Preliminary estimates show that the required total area of houses - from 50,000 m², of which two-bedroom apartments - about 60%, one-bedroom apartments - about 25% three-room and more apartments - about 15%. The estimated cost of construction of 1 m² with finishing decoration of the premises - about \$ 800. There is a need to develop a state program to create a housing stock. It is also necessary to develop regional programs for the creation of housing for communities with certain sources of funding for housing construction in communities. Architectural and structural and spatial planning solutions are needed in the short term housing construction in local communities. The solution to the problem of work is based on the development of housing projects, which provides improved and development of new criteria, obtained as a result of research based on a systematic, cluster approach and taking into account innovative technologies, including BIM technologies. The criterion for choosing the parameters of individual structural elements of buildings was compliance with the requirements to ensure their load-bearing capacity and reliability, including shelter, as well as operational suitability for the accepted during the calculation of their operating conditions. On this basis, the individual house "Biden" was developed.*

Keywords: *housing stock, individual house "Biden", project, technology, innovation, materials, construction, criteria, reliability, safety, comfort, environmental friendliness, material consumption, energy saving sources and economy.*

УДК 621

Оцінка та аналіз механізації улаштування автомобільних доріг Алжиру

Геррут А.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. *Здійснена оцінка та аналіз механізації улаштування автомобільних доріг Алжиру. Розглянуто історію створення та розвиток механізації улаштування автомобільних доріг. Створення та розвиток доріг можна певною мірою пов'язати такими періодами: до французької колонізації; період французької колонізації та періоди після здобуття незалежності. Здійснений аналіз засвідчив, що системний підхід будови доріг почався в період французької колонізації і особливо після здобуття*

незалежності. В роботі здійснено аналіз цих і інших подібних механізмів за низкою критеріїв їх корисності та ефективності.

Ключові слова: автомобільна дорога, механізація, улаштування, періоди будови, параметри механізмів.

Алжир розташований на північному заході Африканського континенту і межує з Тунісом на північному сході, Лівією на сході, Нігером на південному сході, Мавританією та Малі на південному заході, Західною Сахарою на заході та Марокко на північний захід. Алжир, завдяки своєму географічному положенню, завжди був країною привабливості і як, наслідок, відомий численним вторгненням і окупаціями. Створення та розвиток доріг можна певною мірою пов'язати такими періодами: до французької колонізації; період французької колонізації та періоди після здобуття незалежності. Війська Франції висадилися в Алжирі в 1830 році, як прелюдія до систематичної та методичної колонізації країни, яка йшла останні 132 роки. З 1847 р. військова влада дбала про широке розвиток мережі доріг, щоб забезпечити постачання перших поселенців, щоб війська могли швидко рухатися до точок, яким загрожував опір, який чинило населення. До 1850 року суттєвий крок був уже зроблений. Було збудовано: 450 км доріг з твердим покриттям або утриманням, 450 км відкритих земляних доріг, 1650 км доріг розроблено шляхом нескладних агітаційних робіт. Крім того, досліджувалося 2250 км можливих доріг. Французька колонізація, незважаючи на її жахливість, дозволила розбудовувати дороги, шляхи Сахари, порти та аеродроми. Запроваджені програми зводилися до таких дій: будівництво національних доріг у високогір'ї, об'їзди на маршрутах, що ведуть на схід та захід країни, розчищення великих агломерацій та розвиток міських доріг в Алжирі, Орані, Костянтині та Аннабі, будівництво відомчих і місцевих доріг у високогір'ї та на східному та західному кордоні. За часів незалежності мережа доріг складалася з 67 000 км, розподілених таким чином: мережа RN охопила 18 275 км, в тому числі Північний Алжир: 9 211 км; Сахара: 9 064 км, в тому числі 6 518 км у стані траси; 20 210 км відомчі шляхи; 28 654 км - околичні та сільські шляхи. Крім того, за 13 років ця мережа доріг збільшилася на 7000 км порівняно з 1948 роком. В таблиці 1 наведена класифікація та характеристика доріг.

Таблиця 1. Класифікація та характеристика доріг

клас	довжина km	пайок (%)	з покриттям (km)	раціон покриття (%)	2X2 смуги (km)	з способи і більше
шосе	1 096	0,9	1 096	100	-	1 096
експрес маршрути	3 348	2,7	3 348	100	3 168	180
національні дороги	31 708	25,5	29 430	93	2 291	256
державна дорога	24 357	19,6	21 960	90	173	-
комунальний шлях	63 598	51,2	43 000	68	15	-
всього	124 107		98 834	80%	5 647	1 532

Сучасні механізми, що застосовуються для улаштування доріг, приведені на рисунку 1.



а



б



в



г



д



е

Рис.1 Механізми для улаштування автомобільних доріг: а – гусеничний екскаватор; б – грейдер; в – екскаватор – навантажувач; г – автоцистерна для асфальту; д – асфальтоукладальник; е – дорожній каток.

На основі технічних характеристик наведених механізмів здійснена оцінка їх застосування за критеріями енергоємності, матеріалоємності, надійності[1] та розроблено алгоритм вибору комплекту механізмів для улаштування автомобільних доріг. Використані положення методів подібності[2].

Список літератури.

1. Назаренко І. І., Гарнець В. М., Свідерський А. Т., Пентюк Б. М. Системний аналіз технічних об'єктів: навчальний посібник – К.: КНУБА, 2009. – 164 с.
2. Сердюк Л.І. Теорія розмірностей, теорія подібності та математичне моделювання: посібник для студентів та аспірантів. Полтава.: ПолтНТУ. 2005. 154с.

Evaluation and analysis of mechanization of roads in Algeria.

Gerrut A.

Abstract. An assessment and analysis of the mechanization of road construction in Algeria. The history of creation and development of mechanization of arrangement of highways is considered. The creation and development of roads can be to some extent linked to the following periods: before the French colonization; the period of French colonization and the periods after independence. The analysis showed that the systematic approach to road construction began during the French colonization and especially after independence. The paper analyzes these and other similar mechanisms according to a number of criteria of their usefulness and effectiveness.

Key words: highway, mechanization, arrangement, construction periods, parameters of mechanisms.

УДК 69.002.5

Розробка механізованого технологічного модуля для монтажу структурного покриття будівлі

Володимир Рашківський, Дмитро Лемішко, Максим Волинець

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** З метою підвищення ефективності технологічного процесу монтажу структурного покриття будівлі розроблено механізований технологічний модуль (МТМ). Запропонований модуль призначений для підйому блоку структурного покриття з одночасним нарощуванням колон. Для монтажу колон складається з рами, всередині якої утворюється зона монтажу. Основними параметрами для проектування МТМ є розміри колони, вага блоку СПП та розміри прольотів та кроків між колонами. Відповідно до визначених параметрів конструкцій і споруд, а також характеристик гідроциліндрів прийнято виконано ескізне проектування технологічного модуля.*

Ключові слова: механізований технологічний модуль, структурне покриття.

Сфера застосування структур блоків покриття характеризується потребою у швидкому їх монтажу, легкістю обслуговування, можливістю швидкого демонтажу.

З урахуванням можливих розмірів блоків покриття 24x24 можна отримати варіанти будівлі з розмірами в плані, відповідно до кількості блоків. Мінімально ефективною є кількість блоків 3x4 [1].

Механізований технологічний модуль (МТМ) призначений для підйому блоку структурного покриття (СПП) з одночасним нарощуванням колон. Основними параметрами для проектування МТМ є розміри колони, вага блоку МТМ та розміри прольотів та кроків між колонами. За дослідженнями [2] вага блоку СПП не перевищує 20 т, а переріз колони становить 500...700 мм. Розмір прольотів – 24, 30, 36 м, а кроків – 12, 15, 18, 24 м. Відповідно до визначених параметрів конструкцій і споруд, а також характеристик гідроциліндрів прийнято розчленування колони на складальні частини. Складальні частини прийняті заввишки 1000 мм.

Конструктивно МТМ уявляє таку схему: у верхній частині модуля розміщено опорний оголовок, на який встановлюється вантаж, що піднімається. Підйом/опускання блоку структурного покриття відбувається при використанні кількості модулів відповідно до кількості опор структурного покриття згідно його конструктивним особливостям. В нашому випадку мінімальна кількість ПЗМ на один блок – 4 шт.

Механізований технологічний модуль (рис. 1) встановлюється в зоні монтажу колон таким чином, що центр його монтажної зони співпадає з центром колони. Спочатку встановлюють нижній опорний елемент колони і закріплюють його на опорній пластині фундаменту на анкерних болтах та за допомогою зварювання [2]. На опорний оголовок встановлюється перший ярус колони. Складові колони представлені у вигляді прокатних труб, що дозволяють при з'єднанні їх з муфтами використовувати швидкознімні монтажні пристрої.

Між собою секції колони з'єднуються поперечними та діагональними в'язями, вивіряються та закріплюються.

Після цього встановлюються верхні муфти, які фіксуються на секціях колони, а над опорним оголовком вертикально розміщуються вантажопідйомний модуль згідно схеми розміщення, представленої на рис.2. Зверху на оголовок модуля встановлюється нижня опорна частина СПП, у вигляді перегорнутої піраміди. В нижній частині МТМ розміщено підмости. Підмости можуть бути незалежними або з'єднані між МТМ у межах одного блоку покриття.

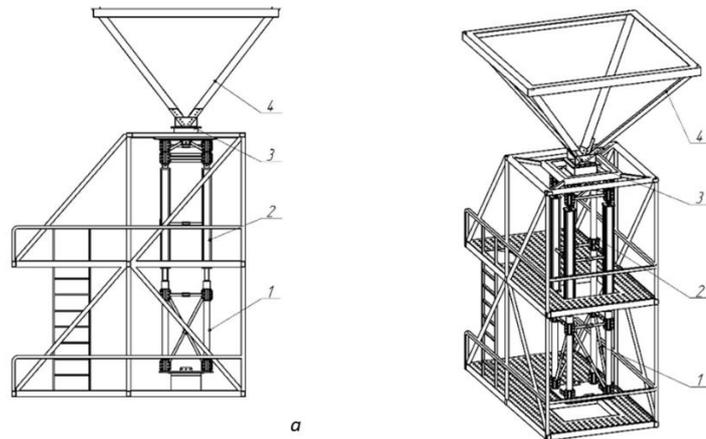


Рис. 1. Вантажопідійомний модуль: а – вигляд збоку; б – аксонометричний вигляд: 1 – ярус колони; 2 – вантажопідійомний модуль; 3 – оголовок колони; 4 - опорний вузол СПП.

Монтаж структурного блоку покриття разом з крановим, сантехнічним, електротехнічним обладнанням та покрівлею відбувається одразу на опорних вузлах, які встановлені на МТМ (рис. 2).

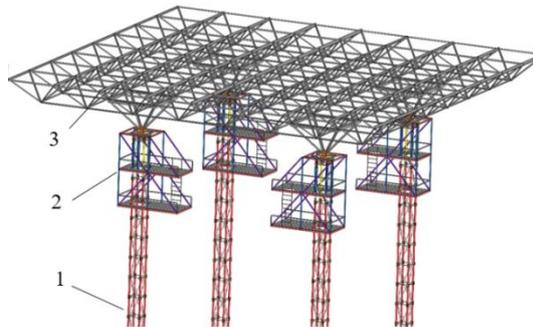


Рис. 2. Схема розміщення ПЗМ на опорах СПП: 1 – колона; 2 – ПЗМ; 3 – блок СПП

Для забезпечення стійкості структурного блоку покриття під час підрозування секцій колон запропоновано використання схеми з трьох силових гідроциліндрів та постійної опори. Така схема утворює прямокутну збірну колону в поперечному перетині та дозволяє отримати під час монтажу складових колони три мінімально можливих точки спирання, що дозволяє забезпечити стійкість під час монтажу.

Монтаж ярусу колони СПП відбувається наступним чином.

На один блок структурного покриття необхідно забезпечити таку кількість ПЗМ, яка відповідатиме конструктивній схемі споруди та забезпечує стійкість СПП. Мінімальна кількість ПЗМ для підйому блоку СПП – 4 шт.

Необхідно забезпечити постійну наявність живлення для системи гідроприводу ВПМ а також системи контролю точності монтажу.

Принципова схема ПЗМ і всієї системи підйому полягає у наступних позиціях:

1. Відбувається синхронне виштовхування усіх гідроциліндрів по 4-м точкам опор. Спочатку здійснюється висування гідроциліндрів (рис. 3, а), на висоту:

$$H = l_C + l_M + \Delta,$$

де l_C - висота секції колони,

$$l_C = 1000 \text{ мм},$$

l_M – висота муфти,

$$l_M = 200 \text{ мм},$$

Δ - гарантований зазор для виконання монтажу ($\Delta = 20 \text{ мм}$).

2. Монтується секція колони з муфтою під постійною опорою ПЗМ. СПП опускається, встановлена секція колони з'єднується діагональними в'язями з колоною (рис. 3, б).

3. Відбувається втягування штоку гідроциліндру №1 (рис. 3, б). ПЗМ утримується в 3-х опорних точках. Монтується секція колони з муфтою. Відбувається спирання гідроциліндру №1 на встановлену секцію колони (рис. 3, в).
4. Відбувається втягування штоку гідроциліндру №2. ПЗМ утримується в 3-х опорних точках. Монтується секція колони з муфтою. Відбувається спирання гідроциліндру №2 на встановлену секцію колони.
5. Відбувається втягування штоку гідроциліндру №3. ПЗМ утримується в 3-х опорних точках. Монтується секція колони з муфтою. Відбувається спирання гідроциліндру №3 на встановлену секцію колони.

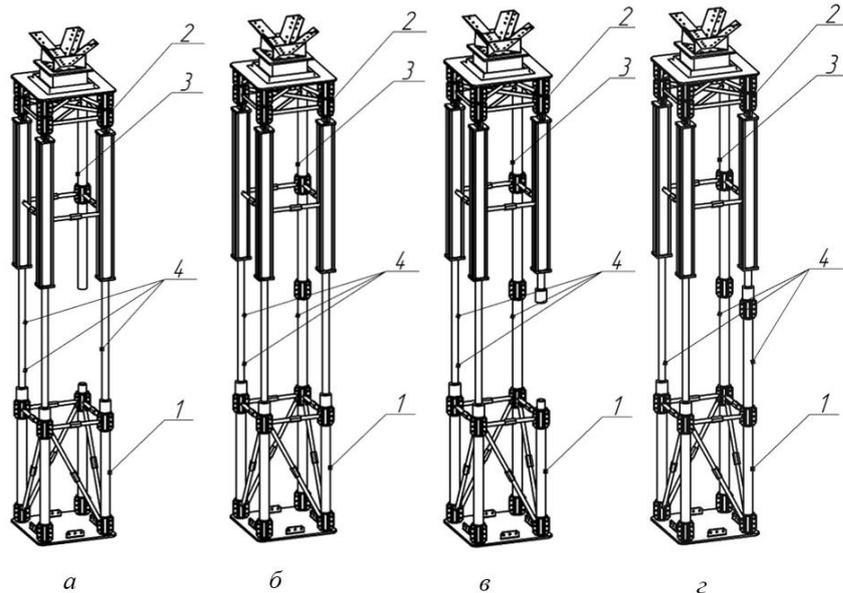


Рис. 3 Послідовність підйому ПЗМ (рама з підмащеними умовно не показана): 1 – змонтований ярус колони; 2 – ПЗМ; 3 – постійна опора ПЗМ; 4 – спирання на колону.

Монтаж останнього ярусу та демонтаж ПЗМ.

Останніми монтуються 10 та 11 яруси колон (рис. 4). При цьому постійна опора розкріплюється від ПЗМ та фіксується на колоні. Силкові гідроциліндри встановлюються згідно схеми, зображеної на рис. 3.5 з діагональним спиранням на одну секцію колони. Після цього одразу монтується секції колони 10 та 11 ярусу. Відбувається демонтаж силового обладнання та демонтаж рами ПЗМ.

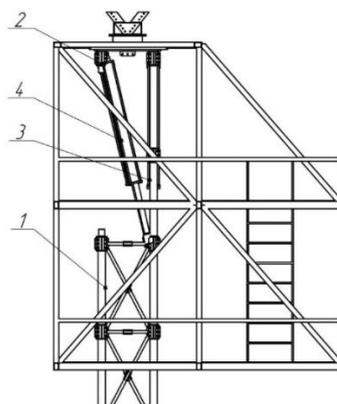


Рис. 4 Схема монтаж останнього ярусу колони: 1 – змонтований ярус колони; 2 – ВПМ; 3 – постійна опора ВПМ; 4 – спирання на колону.

При потребі демонтаж колон з опусканням СПП відбувається у зворотному порядку. Відповідно до схеми спирання та розмірів блоку структурного покриття можна визначити характеристики силових гідроциліндрів та гідросистеми [3].

Розроблений технологічний модуль розроблено на основі технічних рішень [4-5] з

використанням систем параметричного геометричного проектування [6].

Список літератури

1. Технологія монтажу будівельних конструкцій: навч. посіб. / В.К. Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачєв, К.В. Черненко та ін.; за ред. В.К. Черненка. – К.: Горобець Г. С., 2010. – 372 с.
2. Собко Ю.Т. Технологія монтажу структурних блоків покриття з використанням підйомно-збиральних модулів. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук К.КНУБА.
3. Пелевін Л.С., Рашківський В.П. Курсове проектування з гідроприводу підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних та лісотехнічних машин. Навчальний посібник, К., Фенікс, 2015, 105 с.
4. Площадка для монтажу колон. Тонкачєв Г.М., Рашківський В.П. Патент України № 88729. Бюл. № 5, 10.11.2009.
5. Спосіб монтажу покриття споруди. Рашківський В.П., Черненко К.В. Патент України № 76241 У. Бюл. № 24, 25.12.2012.
6. Рашківський В.П. Системи комп'ютерного проектування. Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання/.-Київ:КНУБА,2012.-44с.

DEVELOPMENT OF MECHANIZED TECHNOLOGICAL MODULE FOR INSTALLATION OF BUILDING'S STRUCTURAL COATING

Volodymyr Rashkivskyi, Dmytro Lemishko, Maksym Volynets

Abstract. In order to increase the efficiency of the technological process of installation of structural coating of the building developed a mechanized technological module (MTM). for installation of columns consists of a frame in which the installation zone is formed. The main parameters for the design of MTM are the size of the column, the weight of the NGN unit and the size of the spans and steps between the columns. According to the defined parameters of constructions and constructions, and also characteristics of hydraulic cylinders the sketch design of the technological module is accepted.

Keywords: mechanized technological module, structural coating.

УДК 693.1

Проектування та використання механізованих технологічних модулів при аварійно-відновлювальних роботах на мостах

Володимир Рашківський, Антон Саух,

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Життєвий цикл мосту та мостових опор включає в себе основні етапи: первинне зведення мостових опор та улаштування його полотна; експлуатація мосту; ремонт опор/полотна; утилізація мосту. Збільшення рівня механізації при обслуговуванні мостів є ключовим фактором ефективності робочого процесу. Технологічні особливості при цьому суттєвим чином залежать від функцій оснащення, її конструкції та особливості роботи. Формування парку оснащення у вигляді технологічних модулів, що виконують конкретні функції є ефективним. Розроблений вантажопідйомний модуль для обслуговування мостових опор дозволяє суттєво зменшити використання важкої кранової техніки та значно забезпечити виконання ручних монтажних процесів. Окрім цього, запропоновано конструкцію монтажної площадки, що оснащена засобами автоматизації процесу забезпечення монтажника в робочій зоні. Особливості організації парку механізації будівельних процесів за принципом модульної організації зумовлює розгляд технологічного оснащення у вигляді функціональних блоків, що реалізують визначені технологічні задачі. Комплексний розгляд потреб забезпечення будівельних процесів разом з уніфікацією технологічного оснащення, надання їй функцій механізації та автоматизації дозволяють ефективно наповнювати інформаційну систему обслуговування, зокрема конструкцій мостів.

Ключові слова: обслуговування мостів, ремонтні роботи, механізація ручних процесів.

Реалізація сучасних методів функціонування мостових опор полягає у всебічному застосуванні технологічних пристосувань, призначених для їх зведення, обстеження, діагностування, обслуговування, утилізації тощо (рис. 1). В кожному конкретному випадку розробляються організаційно-технологічні заходи, що дозволяють в заданих умовах реалізувати поставлену задачу.

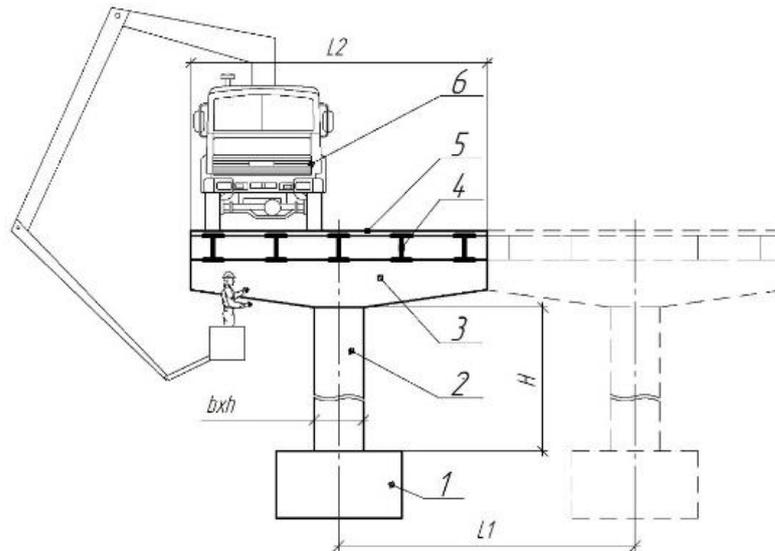


Рис. 1. Обстеження мостових конструкцій: 1 – фундаментний блок; 2 – мостова опора; 3 – поперечна балка моста; 4 – повздовжня балка моста; 5 – дорожня плита; 6 – установка з платформою для ремонту мостів.

Життєвий цикл мосту та мостових опор включає в себе основні етапи: первинне зведення мостових опор та улаштування його полотна; експлуатація мосту; ремонт опор/полотна; утилізація мосту.

Обслуговування мостових опор умовно можна поділити на категорії:

незначне відхилення стану опор від норми, що полягає, наприклад, у відновленні зовнішнього шару опор (відшарування захисного шару бетону); значне відхилення стану опор від норми, що потребує застосування методів підсилення опор; аварійний стан опор, що потребує демонтажу опор та монтажу нових.

Умовою оптимізації технологічних процесів при обслуговуванні мостових опор приймемо мінімізацію використання важкої кранової техніки, особливо для операцій з мостовими опорами.

В роботі [1] розглянуто принципи формування комплектів технологічного оснащення, для ефективного виконання будівельних операцій та запропоновано групування такого оснащення в технологічні модулі.

В ході виникнення потреби ремонту мостової опори, необхідно виконати ряд технологічних операцій:

улаштування утримуючої колони навколо існуючої мостової опори; виконання ремонтних робіт мостової опори; демонтаж утримуючої колони.

Монтаж утримуючої колони необхідний для забезпечення таких функцій:

обмеження опори моста; фіксація опори моста; утримання повздовжніх балок моста та дорожнього полотна.

Також разом з утримуючою колоною монтується підйомнозбиральний модуль (ПЗМ) та монтажні площадки (рис. 2).

Для монтажу утримуючої колони використовується підйомнозбиральний модуль (ПЗМ) [2], що дозволяє зменшити використання важкої кранової техніки. При цьому реалізуються наступні функції: розвантаження опори моста; обмеження оснащення; фіксація оснащення; переміщення оснащення; утримання оснащення; навантаження опори моста.

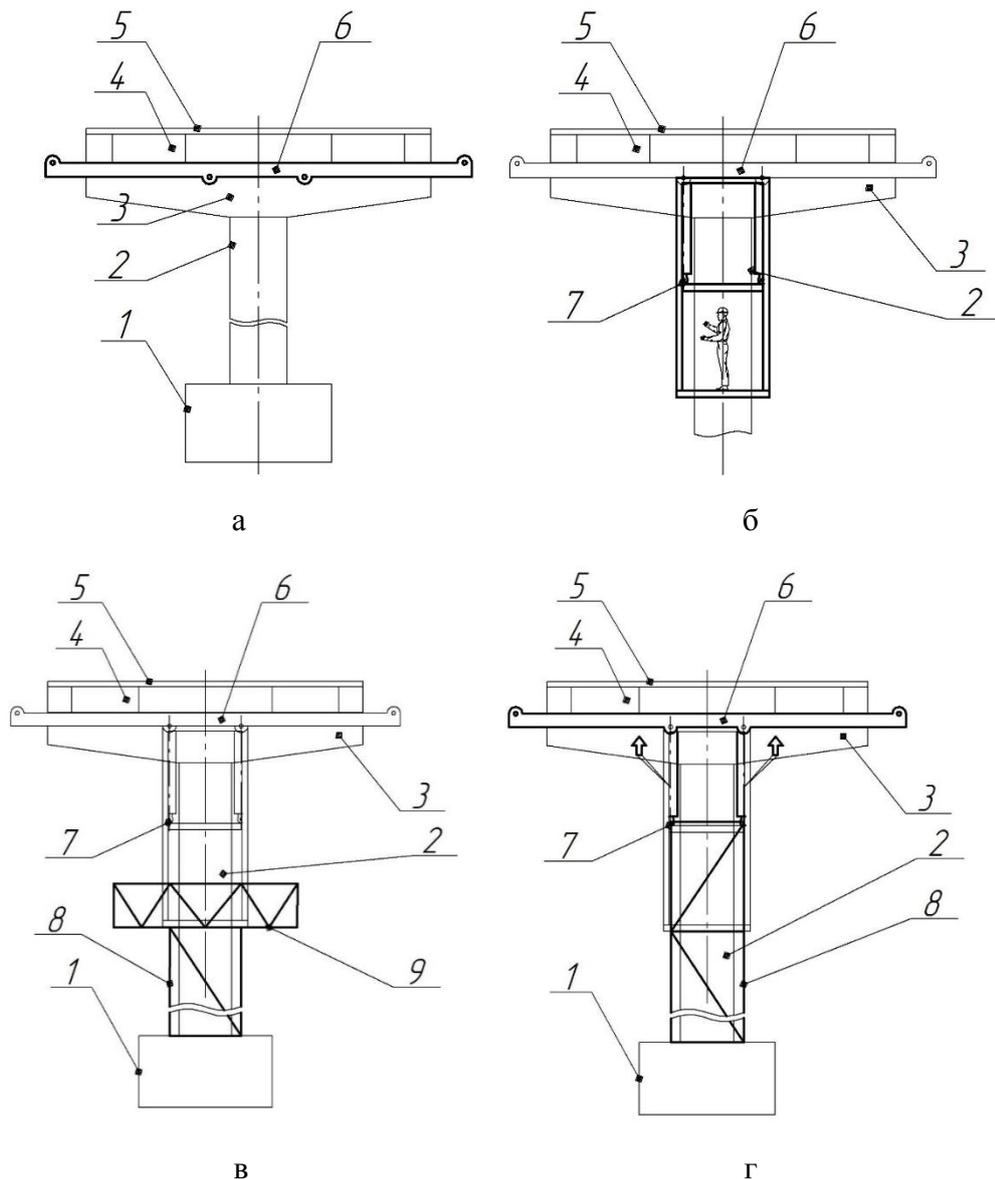


Рис. 2. Послідовність монтажу утримуючої колони: 1 – фундаментний блок; 2 – мостова опора; 3 – поперечна балка моста; 4 – повздовжня балка моста; 5 – дорожня плита; 6 – траверса; 7 – підйомнозбиральний модуль; 8 – утримуюча колона; 9 – монтажна площадка: а – монтаж траверси; б – встановлення підйомнозбирального модуля на траверсі; в – монтаж площадок обслуговування; г – монтаж утримуючої колони з наступним підвантажуванням траверси.

Підйомнозбиральний модуль представляє собою систему з легким вантажопідйомним механізмом для подачі елементів утримуючої колони та монтажних площадок на проектні відмітки а також домкратний комплекс для збирання утримуючої колони та розвантаження мостової опори.

На одну мостову опору достатньо одного ПЗМ, який зможе виконувати симетричний підйом/опускання повздовжніх балок моста.

Необхідно забезпечити постійну наявність живлення для системи гідроприводу ВПМ а також системи контролю точності монтажу [3]. Для обслуговування колони в тимчасовій колоні влаштовуються прямокутні секції (рис. 3, б)

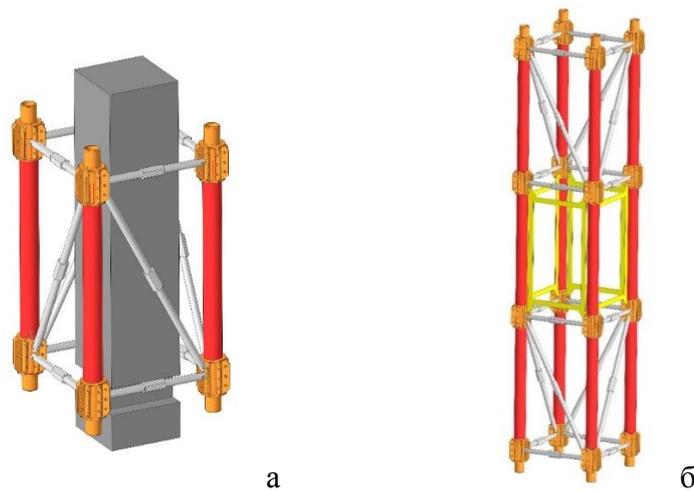


Рис. 3. Схема улаштування утримуючої колони навколо мостової опори: а – секція утримуючої колони; б - моделювання секцій мостової опори.

Конструкція підйомнозбирального модуля розроблена таким чином, що основна частина операцій, які він виконує може виконуватись автоматично з використанням будівельних роботів чи маніпуляторів. Наявність силового гідравлічного приводу та циклічних однотипних операцій дозволяють розроблювати рекомендації по дистанційному керуванню процесом улаштування підготовки об'єкту до ремонтних робіт.

Список літератури

1. Тонкачев Г.Н. Функционально-модульная система формирования комплектов строительной оснастки (монография). – Киев: 2012. – 158 с.
2. Рашківський В.П., Черненко К.В. Вантажопідйомний крокуючий модуль (впкм-1) та технологія його використання при монтажі покриттів. Науково-технічний збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”, Том 13, №2, 2012. С. 62-64.
3. Пелевін Л.С., Рашківський В.П. Курсове проектування з гідропроводу підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних та лісотехнічних машин. Навчальний посібник, К., Фенікс, 2015, 105 с.

ANALYSIS OF INERTIAL PARAMETERS AND METHODS OF VIBRATION ISOLATION OF A VIBRATING JAW CRUSHER

Volodymyr Rashkivkyi, Anton Saukh

Abstract. *The life cycle of a bridge and bridge piers includes the main stages: initial construction of bridge piers and arrangement of its canvas; operation of the bridge; repair of supports / canvases; disposal of the bridge. Increasing the level of mechanization in the maintenance of bridges is a key factor in the efficiency of the work process. Technological features significantly depend on the functions of the equipment, its design and features of work. The formation of a fleet of equipment in the form of technological modules that perform specific functions is effective. The developed lifting module for the maintenance of bridge piers allows to significantly reduce the use of heavy crane equipment and significantly ensure the implementation of manual installation processes. In addition, the construction of the assembly site is proposed, which is equipped with means of automation of the process of securing the installer in the work area. Features of the organization of the park of mechanization of construction processes on the principle of modular organization determines the consideration of technological equipment in the form of functional units that implement certain technological tasks. Comprehensive consideration of the needs of construction processes together with the unification of technological equipment, providing it with the functions of mechanization and automation allow to effectively fill the service information system, in particular bridge structures.*

Keywords: *maintenance of bridges, repair work, mechanization of manual processes.*

УДК 72.023

Переваги використання енергоощадних будівельних матеріалів на основі аерогелів в оздоровчих центрах

Марія Лященко, Тетяна Кашенко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. В сучасному світі все частіше постає питання заощадження енергії практично серед усіх архітектурних типологій. В свою чергу центри оздоровлення мають свої певні архітектурно-планувальні особливості, що вимагають уваги до конструкцій, які можуть стати слабким місцем у прагненні енергозаощадження. Виробники сучасних матеріалів пропонують рішення на основі переважно кварцевого аерогелю, який гранульований або монолітний демонструє одні з кращих показиків енерго збереження. Цей напівпрозорий матеріал може мати застосунок у різних типах конструкцій, що може стати значною перевагою їхнього використання для проектування центрів оздоровлення.

Ключові слова: аергель; стійкість; оздоровчі центри; утеплювач; оздоровлення.

Аерогелі – це високотехнологічний матеріал, який використовується в космічній індустрії. Як він може бути корисним у використанні для енергоефективного проектування оздоровчих центрів?

Аерогелі – синтетичні матеріали низької щільності з унікальними фізичними властивостями. Вони утворюються шляхом видалення рідини з гелю в особливих умовах сушіння, минаючи усадку і розтріскування, що виникають під час випаровування в навколишньому середовищі. Це створює міцну тривимірну нанопористу структуру, що містить в собі 80-99% повітря.

Завдяки своїй високій пористості аерогелі мають найнижчу теплопровідність серед твердих речовин, водночас вони прозорі для світла та сонячного випромінювання. Аерогелі часто називають перспективним матеріалом для напівпрозорих ізоляторів. Їх можна виготовляти практично з будь-якого матеріалу, хоча найпоширенішою формою є кварцевий аергель, який може бути виготовлений у вигляді гранул або в твердих (монолітних) плитках.



Рис.1. Легкі і світлопрозорі конструкції типового оздоровлюючого залу (<http://www.lwda.com/project/dyouville-center-advanced-therapy>)

R Value Comparisons of 10mm Thickness

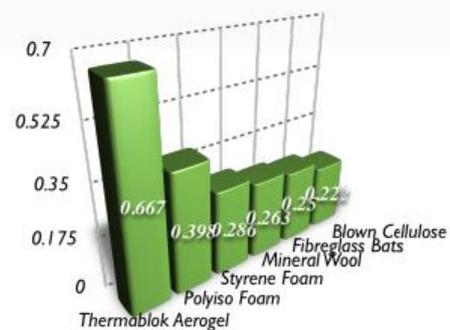


Рис.2 Порівняння опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Архітектура оздоровчих центрів потребує у своєму дизайні зазвичай світлих і прозорих/напівпрозорих огорожувальних конструкцій. Інтер'єр центру оздоровлення має відповідати всім вимогам інсоляції і санітарно-гігієнічних норм (Рис. 1).

Застосування матеріалів на основ аерогелів у проектуванні центрів оздоровлення може бути таким:

- внутрішнє утеплення стін;
- склопакети та системи облицювання, що містять гранульований аергель.
- напівпрозорі та непрозорі ізоляційні плити, ковдри та мембрани для покрівлі;
- реконструкція існуючих приміщень за допомогою надтонкого утеплення;
- використання у сонячних колекторах.

Прозорий монолітний кварцевий аергель є технологією скління майбутнього, з потенціалом

досягнення U -значень до $0,1 \text{ Вт/м}^2\text{.К}$. Однак дослідження та розробка такого монолітного скління обмежена через високу вартість виробництва на даний момент, тривалий час обробки та складність створення великих однорідних зразків із повною прозорістю.

Аерогелі виготовляються шляхом видалення рідини з гелів, в результаті чого утворюється матеріал, що на 90 відсотків складається з повітря. Пориста структура цього наноматеріалу ускладнює проходження тепла. В результаті з аерогелів виходять дуже хороші і легкі ізолятори.

Зараз компанії з виробництва-аерогелів пропонують тонкі ковдри, які замінюють традиційну ізоляцію зі скловолокна, пінопласту або целюлози. Зараз для споживача, це все ще дороге, але вже витрати впали до такої міри, що це може мати сенс у деяких випадках сьогодні, зокрема, враховуючи вартість утеплення цегляної кладки або архітектури з кривизною стін. З аерогелями також відносно легко працювати, оскільки вони пропускають водяну пару і є вогнестійкими.

Вони є перспективними для використання в оздоровчих центрах а також для реконструкції уже існуючих споруд центрів оздоровлення та оздоровчих залів. Досить часто опалення великих і високі залів є проблемою взимку, тож реконструкція з використання утеплювача з кварцевого аерогелю надасть змоги втримувати тепло і скоротить витрати на енергію.

Електропровідність аерогелю становить близько $0,013 \text{ Вт/мК}$ для комерційно доступних аерогелів порівняно з приблизно $0,04 \text{ Вт/мК}$ для ковдри зі скловолокна і $0,025 \text{ Вт/мК}$ для ізоляції типу ерс/пінопласт. Токсичність матеріалу, ймовірно, не є проблемою через загалом нереакційну природу кварцевих аерогелів. Найімовірнішою проблемою для здоров'я і безпеки є утворення пилу, але Міжнародне агентство з дослідження раку класифікувало його як неканцерогенне для людей, і не було жодних доказів проблем у людей з тривалим впливом.

Прикладом успішної реконструкції є кейс міста Род-айленд, де було використано утеплювач з аерогелю під час реконструкції житлового комплексу на 50 квартир у п'яти цегляних будинках, побудованих у 1940-х роках без ізоляції. Підрядники скріпили ковдри з аерогелю на внутрішні стіни, а потім додали шар штукатурки та фарби. Перевага такого підходу в тому, що він не заважав людям всередині і додав менше 3 см внутрішнім стінам. За даними Aspen Aerogels, окупність становила трохи більше п'яти років.

В інших випадках підрядники використовували матеріал для утеплених будинків, які герметизуються зовні, як поверх кладки, так і під черепицею. У дерев'яних каркасних будинках тонкі смужки аерогелю можна нанести на шпильки, щоб запобігти так званому тепловому містку, коли тепло виходить через каркас стін.

Вартість проектів, які використовують матеріали для утеплення на основі аерогелю скоротиться, але не різко в найближчі кілька років. Тим не менш, більш суворі будівельні норми означають, що матеріал може підходити в більшій кількості обставин, сучасні вимоги до споживання тепла стають все меншими і меншими, тому такі енергоефективні рішення на базі аерогелю зможуть підвищити енергоефективність майбутніх проектів для об'ємних приміщень центрів оздоровлення. Сучасний стан типології оздоровчих центрів в Україні є складним. Диверсифікація цієї архітектурної типології призвела до хаотичного розподілу цих закладів охорони здоров'я в Україні та погіршення надання якісних реабілітаційних та реабілітаційних послуг пацієнтам.

Переосмислюючи та винаходячи неординарні та привабливі рішення не лише для пацієнтів, а й для оздоровлення здорових людей, ми сприяємо поширенню здорового способу життя, що, як наслідок, збільшує популяцію здорових дорослих.

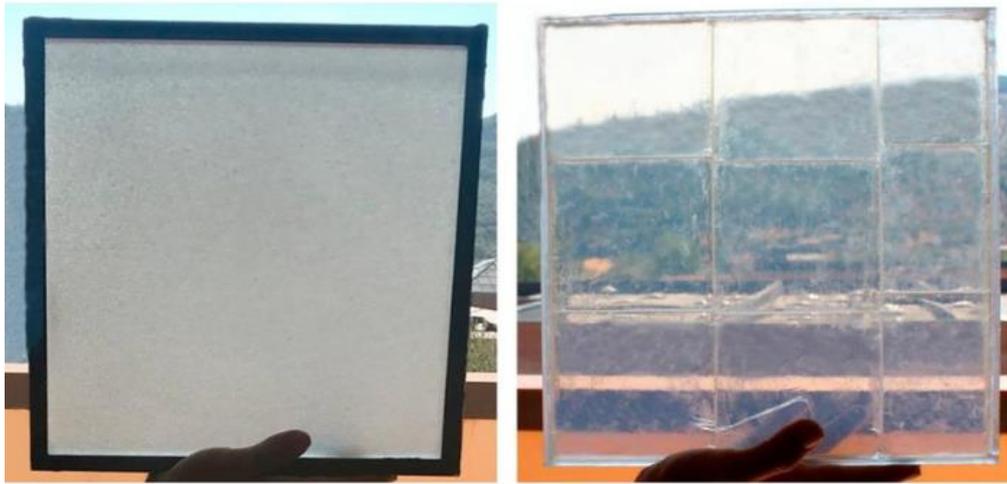


Рис.3. Аерогелеве скління: зернисте (ліворуч) і монолітне (праворуч). Витяг з Solar Energy, Zinzi et al., (2019). Оптична та візуальна експериментальна характеристика системи скління з монолітним кремнеземним аерогелем. Copyright183, 30-39, Elsevier..

Виготовлення аерогелю складається з трьох основних етапів: приготування гелю, витримання та сушіння. Мета полягає в тому, щоб створити гель, зміцнити та очистити його, а потім видалити всю рідину з пор, не руйнуючи тверду структуру (досягається за допомогою надкритичних або субкритичних технологій сушіння). Ці процеси зазвичай включають змішування досить токсичних хімічних речовин і проведення складних процесів, контрольованих дифузією, які споживають багато розчинника. Крім того, останній етап часто супроводжується інтенсивними процесами сушіння, які можуть споживати велику кількість енергії та CO₂.

Незважаючи на це, у 2008 році два основних виробника кварцевого аерогелю отримали «Срібні» екологічні нагороди від McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC) за виробництво аерогелю. MBDC стверджує, що оцінює повну формулу продуктів, використання енергії, використання води та потенціал переробки при оцінці впливу на навколишнє середовище. Однак дані цих досліджень є конфіденційними, що ускладнює оцінку точності та валідності результатів.

Щоб додатково дослідити ці проблеми була проведена оцінка життєвого циклу (LCA) кварцевого аерогелю відповідно до стандартів ISO. Працюючи у співпраці з Університетом Бата (який виробляє аерогель в рамках програми дослідження оптики), був виготовлений аерогель і виміряв споживання сировини та електроенергії на виробничій лінії.

Результати дослідження продемонстрували, що енергію та CO₂, необхідну для виробництва високоякісної аерогелевої ізоляції, можна відновити протягом 0-2 років (якщо порівнювати результати із заощадженнями під час використання, отриманими від переобладнання на склопакети). Ключовими факторами, що впливають на окупність та стійкість, були ефективність виробництва та повторного використання/переробки таких матеріалів, як рідкий CO₂ та розчинники.

Було розроблено три технології, які мають перспективні початкові результати:

- Дооснащення полікарбонатних панелей, наповнених гранулами аерогелю, до існуючих вікон для покращення їх теплових характеристик.
- Модернізація напівпрозорої аерогелевої панелі зовні бетонної стіни для уловлювання сонячної енергії, яку можна використовувати для пасивного обігріву будівлі.
- Створення аерогелевого сонячного колектору із напівпрозорим полікарбонатним покриттям, заповненим гранульованою аерогелевою ізоляцією.

Зазначимо переваги використання матеріалів на основі аерогелю:

1. Менший об'єм матеріалу для утеплення при кращих характеристиках
2. Більш тонкі ковдри для ізоляції полегшують установку та демонтаж для технічного обслуговування та ремонту, тим самим скорочуючи час і витрати.
3. При використанні в якості теплоізоляційного матеріалу аерогель допомагає підвищити енергоефективність, тим самим зменшуючи витрати на електроенергію та викиди.

4. Аерогель особливо цінується за його надзвичайно низьку теплопровідність, яка може становити всього 0,015 Вт/м К-1.
5. Аерогель надзвичайно водовідштовхувальний. Його гідрофобна природа захищає від вологи та корозії.
6. Аерогель зберігає свою форму в умовах високої температури і не тріскається, не злипається і не провисає, як інші ізоляційні матеріали. Він добре витримує вібрацію, удари та частий рух, і може бути використаний повторно після ретельної перевірки.
7. Виняткова довговічність забезпечує триваліший термін служби, що підвищує цю рентабельність.

Список літератури

1. Lakatos, A'. (2020). Investigation of the thermal insulation performance of fibrous aerogel samples under various hygrothermal environment: laboratory tests completed with calculations and theory. *Energy Build.* <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109902>.
2. Gao, T., Ihara, T., Grynning, S., Jelle, B.P., and Lien, A.G. (2016a). Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. *Build. Environ.* 95, 405-413.
3. Gamier, C., Muneer, T., and Mccaule, L. (2015). Super insulated aerogel windows: impact on day lighting and thermal performance. *Build. Environ.* 94, 231-238.
4. Talebi, Z., Soltani, P., Habibi, N., and Latifi, F. (2019). Silica aerogel/polyester blankets for efficient sound absorption in buildings. *Construct Build. Mater.* 220, 76-89.
5. Zhou, Y., Zheng, S., Liu, Z., Wen, T., Ding, Z., Yan, J., and Zhang, G. (2020e). Passive and active phase change materials integrated building energy systems with advanced machine-learning based climate-adaptive designs, intelligent operations, uncertainty-based analysis and optimisations: a state-of-the-art review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109889>.
6. Yang, W., Liu, J., Wang, Y.f and Gao, S. (2020). Experimental study on the thermal conductivity aerogel-enhanced insulating materials under various hygrothermal environments. *Energy Build.* <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109583>.
7. Baetens, Ruben, Bjørn Petter Jelle, and Arild Gustavsen. "Aerogel Insulation for Building Applications: A State-of-the-Art Review." *Energy and Buildings* 43, no. 4 (April 2011): 761–69. doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.012.

BENEFITS OF USING ENERGY SAVING BUILDING MATERIALS BASED ON AEROGELS IN HEALTH CENTERS

Mariia Liashchenko, Tetyana Kashchenko

Abstract. In today's world, the question of energy saving is increasingly emerging among almost all architectural typologies. Health centers have their own architectural and planning features that require attention to structures that may be a weak point in the pursuit of energy savings. Manufacturers of modern materials offer solutions based mainly on silica aerogels, which granular or monolithic structure demonstrates some of the best indicators of energy consumption. This translucent material can be used in various types of structures, which can be a significant advantage of their use for the design of health centers.

Keywords: aerogel; stability; health centers; insulation; sanitation.

УДК 697.9

Повітрообмін для безпечного повітряного середовища в житлових приміщеннях за допомогою енергоефективних очищувачів повітря

Любов Макаренко, Олександр Приймак

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. З метою створення безпечного внутрішнього повітряного середовища в житлових приміщеннях розглянуто можливість збільшення кратності нормативного повітрообміну до рекомендованих значень, які дозволять ефективно впливати на очищення повітря від забруднювачів в таких середовищах. Також проведено порівняння втрат теплової енергії та енергії на охолодження для нагріву та охолодження зовнішнього повітря в зимовий та літній періоди в умовному житловому приміщенні, що має площу 20м² та висоту 2,5м при нормативному повітрообміні 0,5 та рекомендованому

повітрообміні 4 та 6 (кратності). Зроблено висновок, що використання рециркуляційних установок переносного типу з відповідним класом фільтрації допоможе зменшити кількість забруднюючих матеріалів, що передаються повітряним шляхом, навіть грибків, спор, пилку, бактерій, запахів тютюну чи домашніх тварин. Розглянуто портативний очищувач HealthPro 250 виробництва швейцарської фірми IQAir, що обладнаний фільтром класу HEPA 13.

Ключові слова: повітрообмін; рециркуляційна установка; очищувач повітря.

Якість зовнішнього повітря є важливим питанням для життєдіяльності людства. Навіть в мирні часи техногенне навантаження та діяльність людства створювали проблеми, що казати про стан повітря в країні де постійні військові дії. Реальна ситуація поставила питання безпеки, в які входять і питання забезпечення безпечного повітряного середовища не лише на зовні, а і в місцях постійного перебування людини – в житлових та офісних приміщеннях.

Але, у закритих приміщеннях легше поширюються віруси, такі як COVID-19. Без підтримання необхідного повітрообміну в приміщеннях зростає концентрація забруднювачів у внутрішньому повітряному середовищі: оскільки віруси можуть поширюватися повітряним шляхом через кашель, чхання або навіть дихання, це призводить до збільшення показників інфікування при постійному перебуванні в таких повітряних середовищах.

Якість повітря в будинках часто погіршується через поєднання внутрішніх та зовнішніх джерел забруднення. Зовнішні забруднення, що потрапляють з довкілля надходять від різних джерел: жваві вулиці, автовокзали, прилеглі автостоянки, залізничні станції, аеропорти, виробництво, промисловість, сільське господарство.

Внутрішніми джерелами можуть бути, як не дивно, навіть інженерні мережі, такі як: системи вентиляції та кондиціонування повітря (малоефективні фільтри на припливно-витяжних вентиляційних установках; невчасна заміна фільтрів кондиціонерів). Також, до внутрішніх джерел відносяться будівельні матеріали, копіювальні апарати та лазерні принтери, що можуть бути джерелом твердих частинок і газоподібних забруднювачів усередині приміщень.

Забруднюючі речовини з внутрішніх джерел, включаючи леткі органічні сполуки (ЛОС), можуть викликати гострі реакції та викликати такі симптоми, як головний біль, респіраторний дистрес, втома та інші проблеми зі здоров'ям.

Хоча багато факторів можуть впливати на якість повітря в будівлях, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, проблеми з якістю повітря у приміщеннях виникають у 30% усіх комерційних будівель. В дослідженні [7] зазначається, що 23% офісних працівників у США відчувають симптоми, що знижують загальну продуктивність праці по всій країні на 2%.

Зменшення кількості повітря з 10 до 5 л/с на людину призвело до збільшення поширеності симптомів в середньому на ~23% (12–32%). Збільшення кількості повітря з 10 до 25 л/с на людину призвело до зниження поширеності гострих симптомів в середньому 29% (15–42%).

Дотримання класу чистоти допоможе зменшити кількість забруднюючих матеріалів, що передаються повітряним шляхом, навіть грибків, спор, пилку, бактерій, запахів тютюну чи домашніх тварин та інше [4].

У зв'язку з цим зростають вимоги до систем очищення повітря в житлових та офісних приміщеннях. В нормах проектування ДБН В.2.2-15:2019 “Житлові будинки та споруди” таблиця 2 “Розрахункові результуючі температури для проектування опалення і вимоги до повітрообміну в приміщеннях” вказано мінімальна кратність повітрообміну 0,6 крати при механічному чи природному способі вентиляції житлових приміщень для здорових людей та 0,7 для осіб з інвалідністю чи літніх людей а для загальних кімнат, спалень та дитячих. Тоді як, в дослідженні [6] зазначається, що збільшення кратності повітрообміну від 4 до 6 можуть зменшити передачу COVID-19 повітряно крапельним шляхом.

Повітрообмін пропонується підвищувати як подаванням в приміщення свіжого повітря зовні, так і, використання повітря рециркуляційними системами з мінімальним підмішуванням санітарної норми свіжого повітря. При цьому рекомендується обладнувати системи вентиляції та рециркуляції вискоелективними фільтрами відповідного класу для вловлювання аерозольних та інших забруднювачів. Поряд з видаленням джерела забруднення та посиленою вентиляцією,

Агентство з охорони навколишнього середовища США рекомендує високоефективне очищення повітря .

В більшості випадків для очищення повітря, що подається в приміщення за допомогою вентиляційних систем використовуються фільтри грубої очистки G4-F9 , що мають низьку ефективність фільтрації або вентиляційні системи які не мають фільтрувальних систем взагалі. Для очищення повітря до вказаних рекомендацій ВООЗ потрібно використовувати фільтри з більшою ефективністю фільтрації - високоефективні повітряні фільтри для твердих частинок (HEPA).

Вони вловлюють зважені в повітрі частинки з повітря, що рухається - за допомогою щільного безладного розташування волокон, використовуючи фізику частинок, що рухаються у повітрі, щоб виривати їх із повітряного потоку. Їх робота проста, але надзвичайно ефективна.

Високоефективні фільтри H11-H14 , використовуються для кінцевого очищення повітря в системах припливної вентиляції до рівня стерильності в чистих зонах мікроелектронної, мікробіологічної, фармацевтичної , медичної , харчової галузей та мають високу ефективність.

Такі фільтри H11-H14 можуть використовуватися у вигляді окремих рішень або рішень для всієї будівлі : як обладнання ними припливних установок , так і встановлення в мережу повітроводів припливних вентиляційних систем , так і в переносних рециркуляційних установках , що можуть розміщуватися в будь якому приміщенні з постійним моніторингом параметрів внутрішнього повітряного середовища та зручним керуванням [3].

Також, важливо враховувати витрати сировинних та енергетичних ресурсів , які необхідні для створення та роботи таких систем, що є важливим параметром в умовах сучасних викликів .

Проведемо порівняння втрат теплової енергії та енергії на охолодження для нагріву та охолодження зовнішнього повітря в зимовий та літній періоди в умовному житловому приміщенні , що має площу 20м² та висоту 2,5м при нормативному повітрообміні 0,5 та рекомендованому повітрообміні 4 та 6 (кратності) .

Таблиця 1

Порівняльна таблиця параметрів енергоспоживання при зміні кратності повітрообміну .

Повітрообмін	Призначення приміщення	Площа, м ²	Розрахунок кількість повітря, м ³ /годину	Кількість теплової енергії для нагріву свіжого повітря з вулиці взимку, кВт	Кількість енергії для охолодження свіжого повітря з вулиці влітку, кВт	Електрична потужність двигуна механічної системи вентиляції, кВт	Сумарна необхідність в енергії зима, кВт	Сумарна необхідність в енергії літо, кВт
Кратність 0,5	Житлова кімната	20	25	0,35	0,163	0,047	0,397	0,210
Кратність 4	Житлова кімната	20	200	2,67	1,31	0,047	2,717	1,357
Кратність 6	Житлова кімната	20	300	4,0	1,95	0,047	4,047	1,997

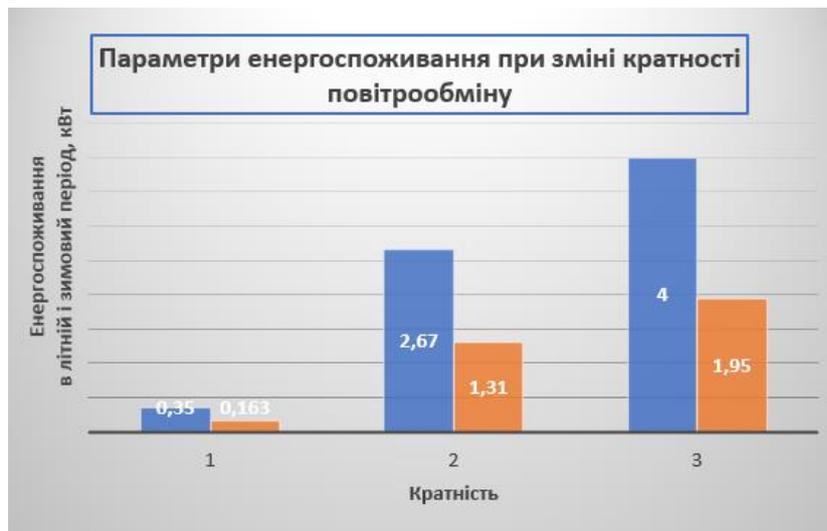


Рис.1. Параметри енергоспоживання на нагрів та охолодження повітря з вулиці при зміні кратності повітрообміну.

З порівняння можна зробити висновок, що збільшення кратності повітрообміну без зміни будь яких інших параметрів (температура, вологість і т.д.) з 0,5 до 4 збільшить енерговитрати на нагрів повітря в 6,8 разів, та на охолодження в 6,5 разів. Якщо ж кратність підвищити з 0,5 до 6 енерговитрати на нагрів повітря підвищаться в 10,2 рази, та на охолодження в 9,5 разів.

Зменшити енергетичні втрати пов'язані з обробкою зовнішнього повітря можливо використовуючи рециркуляційні системи обладнанні необхідним класом фільтрації. Портативні очищувачі повітря можуть бути особливо корисними, коли необхідно створити високу кратність повітрообміну в приміщенні без додаткових втрат на нагрів чи охолодження зовнішнього повітря, що необхідно подати до приміщення [5].

Для прикладу, розглянемо портативний очищувач HealthPro 250 виробництва швейцарської фірми IQAir, що обладнаний фільтром класу HEPA 13. Установка споживає 135Вт в годину роботи, переміщуючи через себе 440м³/годину з ефективністю очищення від забруднюючих часток до 99%. Тож, може забезпечувати 6 кратний повітрообмін для приміщення площею до 30 м², являючи собою приклад енергоефективної рециркуляційної установки з необхідним класом очищення повітря, що не потребує обігріву чи охолодження повітря, переміщуючи лише повітря в межах однієї кімнати з можливістю керування швидкості обертів вентилятора установки, а отже і об'ємом повітря, що вона переміщує.

Тож, найпростіший спосіб зниження ризику накопичення забруднювачів в повітряному середовищі житлових приміщень, підвищення його безпеки – це збільшення його рухливості за допомогою підвищення повітрообміну до рекомендованих значень, що значно більші від нормативних (що зазначені в ДБН). При цьому можливо уникнути енерговитрат на нагрів чи охолодження цього повітря, в умовах постійного дорожчання енергетичних ресурсів, застосувавши вискоелективні компактні рециркуляційні установки обладнанні фільтрами необхідного класу чистоти та засобами керування.

Список літератури.

1. NEW WHO AIR QUALITY GUIDELINES 2021 / 07 10 2021. <https://www.airscan.org/news/who2021>.
2. .Bhola R.Gurjar, Luisa T. Molina, Chandra S.P.Ojha. AIR POLLUTION . Health and Environmental Impacts .2010.
3. Сайт компанії Iqair <https://www.iqair.com/>
4. Guide to Air Cleaners in the Home / 2nd Edition Portable Air Cleaners /. EPA-402-F-08-004 . July 2018. https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-07/documents/guide_to_air_cleaners_in_the_home_2nd_edition.pdf
5. Zhonglin Xu . Air Purifier: Property, Assessment and Applications. 2019. ISBN 978-981-13-2531-1 ISBN 978-981-13-2532-8 (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2532-8>
6. Joseph G. Allen, DSc, MPH1; Andrew M. Ibrahim, MD, MSc . Indoor Air Changes and Potential Implications for SARS-CoV-2 Transmission. JAMA. 2021;325(20):2112-2113. doi:10.1001/jama.2021.5053
7. Fisk WJ, Mirer AG, Mendell MJ. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. Indoor Air. 2009;19(2):159–165. doi: 10.1111/j.1600-0668.2008.00575.x.

AIR EXCHANGE FOR A SAFE AIR ENVIRONMENT IN RESIDENTIAL PREMISES WITH THE HELP OF ENERGY EFFICIENT AIR CLEANERS.

Lyubov Makarenko, Alexander Priymak

Abstract. *In order to create a safe indoor air environment in residential areas, the possibility of increasing the frequency of normative air exchange to the recommended values, which will effectively affect the purification of air from pollutants in such environments. A comparison of heat and cooling energy losses for heating and cooling of outdoor air in winter and summer in a conventional living space with an area of 20 m² and a height of 2.5 m with a standard air exchange of 0.5 and a recommended air exchange of 4 and 6 (multiplicity). It is concluded that the use of portable recirculation units with the appropriate filtration class will help reduce the amount of airborne contaminants, even fungi, spores, pollen, bacteria, tobacco or pet odors. A portable HealthPro 250 cleaner manufactured by the Swiss company IQAir, equipped with a HEPA 13 filter, is considered.*

Keywords: *air exchange; recirculation unit; air purifier.*

УДК 693.1

Особливості використання відновлюваних джерел енергії при проектуванні вертикальних ферм

Ярина Жданова

Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури, Київ, Україна

Анотація. *В даній роботі розглянуто як один з основних недоліків вертикальних ферм, а саме високовартість функціонального процесу виробництва, потребує залучення додаткових енергоефективних ресурсів. Таким чином, сконцентровано увагу на особливостей інтеграції в процес вирощування відновлювальних джерел ресурсів, що здатні перетворювати сонячну, вітрову енергії та біо-відходи на електроенергію.*

Ключові слова: *вертикальні ферми, агропромисловість, енергоефективність, відновлювальні джерела енергії, стійке виробництво.*

Вертикальне фермерство - це практика вирощування їжі в модульній системі, яка може бути розташована вертикально, щоб отримати більше їжі на гектар, ніж в традиційному землеробстві. Вертикальні ферми - це тип сільського господарства з контрольованим середовищем, яке обладнане системами штучного освітлення та гідропонною або аеропонною доставкою поживних речовин [1]. Виникнення та популяризація вертикальних ферм у світі переважно зумовлена глобальною урбанізацією та зростаючою кількістю населення. Ущільнення містобудівної системи і концентрація населення в міському середовищі вимагають виробництва великої кількості якісних харчових ресурсів, їх своєчасного та надійного постачання. Завдяки своїй стабільності відносно зовнішніх чинників, високій продуктивності та ефективності використання простору та ресурсів, вертикальні ферми відповідають усім вимогам для забезпечення вищезазначених потреб населення.

30%) та інших продуктів переробки, що можна повторно використовувати як органічне добриво. Метан, після додаткової очистки, використовується як природний газ для тепло- та енергозабезпечення [5]. Біогазова установка має бути розташована на підземному технічному поверсі та включає в себе контейнер для зберігання субстрату та газовий розділювач, після якого метан використовується для генерування електроенергії, а вуглекислий газ для рослинних ін'єкцій.

Тип реактора (залежить від обсягу виробництва та кількості біовідходів) важливий не тільки для розуміння його габаритів при проектуванні приміщення, а й для економічного та енергоефективного розрахунку. Технічні особливості обладнання визначають можливий рівень компенсації за допомогою електроенергії, а також кількість вторинних надлишків, які також використовуються як ресурси для вирощування. Наприклад, реактор Bioconstruct BioControl при пропускній здатності 600 кг органічних відходів на годину, на виході може отримати до 40 кг/год вуглецевого добрива і 450 кг/год газу, що еквівалентно 1760 кВт/год електроенергії [6]. Таким чином, локальна біогазова установка може не тільки забезпечити додаткову тепло- та електроенергію для функціонування виробництва, а й уникнути транспортних витрат, необхідних для перевезення біовідходів у місця їх утилізації.

Фотоелектричні перетворювачі влаштовуються на покрівлі будівлі або на прилеглих територіях з гарною інсоляцією та орієнтуються на сонячну сторону. З цієї ж сторони в фасадну систему будівлі можливо інтегрувати фотоелектричну напівпрозору плівку, яка є частиною вакуумного п'єзоелектричного скління (рис. 2). Воно несе в собі декілька функцій – створення напівпрозорого фасаду для проникнення світла, що використовується для вирощування рослин і економить штучне освітлення, влаштування ефективної теплоізоляції, а також акумулювання сонячної енергії та створення необхідної тіньової завісу завдяки своїм технічним характеристикам. У лабораторних умовах така система здатна зберігати температуру +25С при зовнішній -10С [7]. Такі фотоелектричні конструкції можуть перетворювати енергію з ефективністю в середньому 14.24% [8], але варто врахувати, що світлопропускна здатність даних скло-панелей становить 50.8% [7], що в свою чергу можна використовувати як тіньове накриття для захисту будівлі та рослин від надмірного впливу сонячної енергії. Найбільш доцільне співвідношення світлопрозорого вакуумного скління до аналогічного фотоелектричного - 40-20% - до 60-80% відповідно [8]. Така пропорція є найбільш доцільною щодо ККД вироблення електроенергії та пропускання оптимальної кількості сонячних променів. Однак варто враховувати, що такий метод не є доцільним на затінених фасадах, оскільки ефективність перетворення світлової енергії падає в середньому на 3.92% [17].

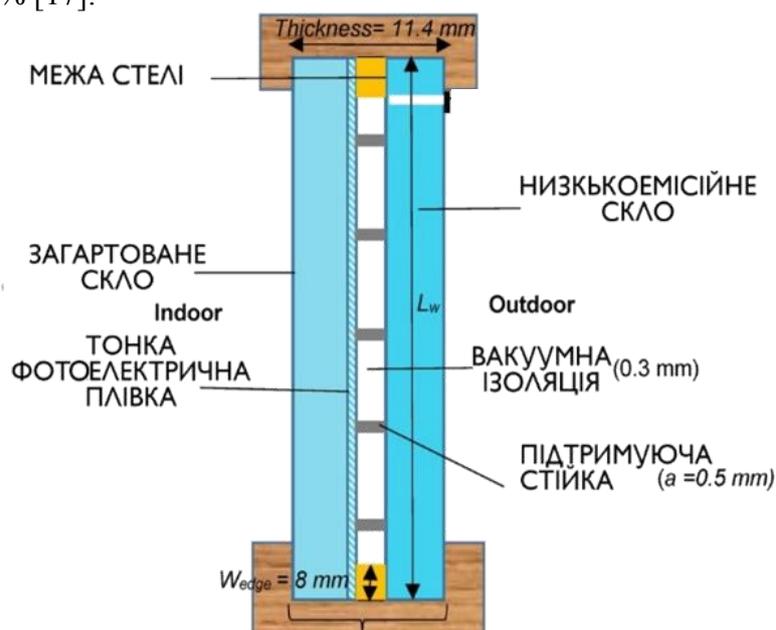


Рис. 2. Влаштування вакуумної ізоляції скління з інтегрованими фотоелектричними елементами [7]

При аналізі навколишнього середовища у зв'язці з розміщенням самої будівлі необхідно визначити місця концентрації вітрових потоків на яких встановлюються вітрові турбіни. Таким чином, підвищується ККД отримання електроенергії, необхідної для виробництва, що в свою чергу знижує витрати на заміщуючу електроенергію. Також варто врахувати, що використання таких установок впливає на архітектурну формоутворення вертикальної ферми, наприклад, вітрові генератори можуть розташовуватися: навколо будівлі і являти собою елемент благоустрою території; вздовж високого фасаду від основи до верху (для підкреслення вертикальності споруди; на його покрівлі (як завершальний акцент); безпосередньо між блоками поверхів, створюючи додаткові отвори, що розчленовує будівлю і робить її "легшою". Сама форма огорожувальних конструкцій може являти собою дефлектор для посилення тяги та направлення повітряних потоків до вітрогенераторів для підвищення кількості одержуваної енергії.

Таким чином, можна прийти до висновку, що відновлювальні джерела ресурсів такі, як вітрова, сонячна та біоенергія відіграють невід'ємну роль у досягненні стійкого вирощування рослин у вертикальних фермах. Їх грамотна інтеграції в процес виробництва позитивно впливає на енергоефективні показники об'єкту.

Також варто враховувати, як такі методи визначають архітектурно-планувальні та об'ємно-просторові рішення будівлі. Тож, комплексний та різносторонній підхід до вирішення даного питання є запорукою ефективного проектування такого типу виробничих споруд.

Список літератури

1. Ben Lawson. *Vertical farming: from Babylon to New York: веб-сайт*. URL: <https://www.cambridgeconsultants.com/insights/opinion/vertical-farming-babylon-new-york> (дата звернення: 21.05.2022).
2. J. Germer, J. Sauerborn, F. Asch, J. de Boer, J. Schreiber, G. Weber, J. Müller. *Skyfarming an ecological innovation to enhance global food security. J. für Verbraucherschutz und Leb.* 2011. Vol. 6, no. 2. P. 237–251.
3. P. M. Voss. *Vertical Farming: An agricultural revolution on the rise. Halmstad.* 2013. Vol. 8, no. 2. P. 1–21.
4. Солнечные панели для дома: веб-сайт. URL: <http://www.sun-ukraine.com.ua/солнечные-панели-для-дома> (дата звернення: 23.05.2022).
5. Биогазовые установки: веб-сайт. URL: <http://zorgbiogas.ru/biogas-plants?lang=ru> (дата звернення: 22.05.2022).
6. Green Energy. *Was wir leisten. Biogas. Fragen und Antworten zu unseren Leistungen: веб-сайт*. URL: <https://www.bioconstruct.de/leistungen/> (дата звернення: 22.05.2022).
7. Yanyi Sun, Katie Shanks, Hasan Baig, Wei Zhang, Xia Hao, Yongxue Li, Bo He, Robin Wilson, Hao Liu, Senthilarasu Sundaram, Jingquan Zhang, Lingzhi Xie, Tapas Mallick, Yupeng Wu. *Integrated semi-transparent cadmium telluride photovoltaic glazing into windows: Energy and daylight performance for different architecture designs. Applied Energy.* Vol. 231. 2018. Pages 972-984.
8. Ali Radwan. *Performance Evaluation of a Semi-Transparent Photovoltaic Vacuum Glazing Panels. Energy Conversion and Management.* Vol. 215(112920). 2020.

FEATURES OF RENEWABLE ENERGY SOURCES USAGE DURING THE VERTICAL FARMS DESIGN

Yaryna Zhdanova

Abstract. *This paper considers one of the main disadvantages of vertical farms, namely the high cost of the functional production process, which requires the involvement of additional energy-efficient methods. Thus, attention is focused on the integration features of renewable sources into the process of growing food in such types of objects. The author describes three main renewable sources: solar, wind and bio-waste energy.*

Keywords: *vertical farms, agro-industry, energy efficiency, renewable energy resources, sustainable production.*

УДК 539.379.4

Проектування сучасних транспортних засобів студентами дизайнерами: інтеграція навчального процесу у виробництво

Микола Кузьмінець, Микола Лампека, Валерій Стрілець, Юрій Дубовенко
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Анотація. У статті наводяться результати досліджень здійснених на кафедрі комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну Національного транспортного університету стосовно впливу факторів природного, технологічного та культурного походження на формотворення засобів громадського транспорту у процесі проектування бакалаврами та магістрами промислових зразків для м. Києва у межах наукової дослідно-конструкторської роботи «Організація конкурсу студентів на кращий дизайн екстер'єру трамвайного вагона типу ТЗУА та тролейбуса типу PTS». Об'єктом дослідження є транспортна інфраструктура столиці України. Предметом дослідження — процес створення оптимального зразка тролейбуса та трамвая для м. Києва з урахуванням аеродинамічних, ергономічних та естетичних якостей. Отримані результати досліджень можуть бути використані при розробці методичних курсів та навчальних програм у закладах мистецької освіти, а також можуть мати практичне значення — кращі зразки можуть запроваджуватися у виробництво.

Ключові слова: міський транспорт, дизайн, заклади вищої освіти, Київ

Програма кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну Національного транспортного університету має фахово-прикладне спрямування і орієнтується на сучасні наукові дослідження в галузі промислового дизайну, зокрема вона зосереджується на проблемах проектування транспортних засобів тощо, враховує специфіку роботи установ та підприємств транспортної галузі, спеціалізується на актуальних тенденціях розвитку промислового дизайну, у контексті яких можливе подальше професійне вдосконалення.

Тому отримавши технічне завдання на виконання другого етапу дослідно-конструкторської роботи «Організація конкурсу студентів на кращий дизайн екстер'єру трамвайного вагона типу ТЗУА та тролейбуса типу PTS» (код 73300000-5(ДК 021-2015)) за договором № 62 від 30.08.2021 р. між НТУ і ТОВ «ПОЛІТЕХНОСЕРВІС» кафедрі було доручено створити дизайн громадського транспортного засобу для міста Києва.

З огляду на це студентам кафедри було поставлено завдання створити концептуальну версію екстер'єру трамвая та тролейбуса орієнтовану на спроможність технічного забезпечення підприємством-виробником позитивного результату, та довести формотворення розроблюваних зразків до рівня сучасних європейських тенденцій.

На початковому етапі — етапі пошукових скетчів екстер'єрного формотворення студенти повинні аналізувати, стилізувати, інтерпретувати та трансформувати аналоги та об'єкти біонічного походження, формувати художньо-проектну концепцію, визначати функціональну та естетичну специфіку майбутніх транспортних засобів і забезпечити:

- розробку оригінальних інноваційних дизайнерських концептуальних рішень;
- практичне застосування результатів дослідження;
- обґрунтування рішень та пропозицій відповідними дизайнерськими розрахунками (аеродинамічними, функціональними, естетичними);
- врахування фізичних властивостей матеріалів та конструктивних побудов, уміння застосовування новітніх технологій у професійній діяльності.

Основним завданням проекту було визначено необхідність створення дизайнерських розробок на основі історико-культурної складової, яка базується на принципах використання особливостей стилістики притаманної місту Києву, проявах української ментальності, зверненні до історичної пам'яті, національної самоідентифікації та етнічних чинників.

У студентському конкурсі на кращий дизайн екстер'єру трамвайного вагона типу ТЗУА та нового тролейбуса взяли участь багато студентів з власними концепціями та презентаціями, але до фінальної стадії комісією було відібрано п'ятнадцять конкурсантів, роботи яких відповідали усім вимогам. Умовно усі версії можемо розділити на три групи.

До першої увійшли проекти, яким притаманні яскраво виражені естетичні ознаки виявлені у формотворчих процесах й художніх характеристиках з урахуванням архітектонічних складових. В ній об'єкти дизайну було створено засобами проектно-графічного моделювання, які забезпечують композиційну побудову, що відповідає певним законам і категоріям і використовують усю палітру понять гармонійного образу.

Другу групу склали пропозиції, що базувалися на функціональних чинниках і відображали всі елементи технічного завдання, а саме забезпечення відповідної аеродинаміки корпусу, оптимальний підбір тектонічних елементів конструкції й матеріалів, запровадження функціональних інновацій, врахування стандартних засобів безпеки.

Третю групу можемо класифікувати за історико-культурними ознаками, які базуються на використанні у професійній дизайнерській діяльності сучасних естетичних стилів, заснованих на автентичних засадах, культурних особливостях та мистецькій стилістиці міста Києва, українській ментальності, історичній пам'яті, національній самоідентифікації.

Важливим сегментом проектних пропозицій стали розробки студентів у яких поєднано результати наукових пошуків з технічними здобутками вітчизняних виробництв. У таких зразках елементи конструкції вдало поєднуються із естетичними чинниками в єдине ціле, а тектоніка та об'ємно-просторова структура базуються на науково-технічних досягненнях.

За рішенням журі конкурсу три його учасники отримали найвищу оцінку, відповідно один перше місце (А. Харіна) і два учасники стали другими (Б. Павловський, В. Вакуленко). На третьому місці розташувалося четверо учасників (О. Стадницька, І. Карбюк, А. Розовенко, М. Старусьова). Кожен з них створив оригінальні моделі, які можуть бути запровадженими у виробництво хоч ідеї інших учасників теж прийнятні і мають практичне значення.

Антоніна Харіна, яка здобула перемогу у конкурсі, пропонує орієнтуватися на стабільні світові тенденції ринку транспортних засобів, що схилиються до естетики мінімалізму. Вона пропонує принципово новий підхід до розробки зразків громадського транспорту пов'язаний з забезпеченням комфортного не тільки інтер'єру, але й екстер'єру.

Дипломниця акцентує увагу на зовнішньому вигляді, який асоціюється з комфортом, сучасним естетичним виглядом, надійністю під час експлуатації. Окрім того, вона пропонує використовувати скло тоноване кольором наближеним до кольору корпусу транспортного засобу, завдяки чому форма виглядає цілісною.

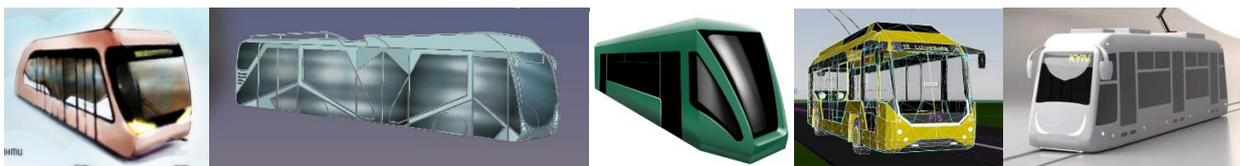


Рис.1. Проектні пропозиції В. Светлової, В. Вакуленко, М. Барахти, Б. Павловського, А. Харіної

Особливу увагу Антоніна приділяє деталям, які спрощують режим пересування для людей з обмеженою мобільністю. Транспортний засіб пропонується обладнати цифровою інформаційною системою для надання зовнішньої інформації про маршрут руху.

Наступний переможець Богдан Павловський у своїй проектній пропозиції приділив увагу аеродинамічним дослідженням, які проводились у програмі Autodesk Flow Design. Його розробка орієнтована на біонічну форму «краплі води», 3D модель спроектована у програмі Blender, пізніше її було перенесено у програму 3D Макс. Після незначного доопрацювання і додавання деяких деталей було виконано рендер тролейбуса.

Валерія Вакуленко свій проєкт розробила дотримуючись основних вимог Державного стандарту України до експлуатації міського транспорту [6]. Найбільшу увагу вона приділила створенню дизайну екстер'єрного рішення, яке базується на функціональності кожного елемента та стриманому мінімалізмі.

Запропонована Ілоною Карбюк модель трамвая орієнтована на пошук біонічної форми для організації зовнішнього вигляду своєї розробки. Схема втілення дивовижної гусениці у біонічну форму транспортного засобу підсилюється оливковим кольором об'єкта та довгими

токознімачами, що нагадують вусики личинки. Такий асоціативний підхід має на меті суто практичне значення, адже наявність двох кабін водія свідчить про те, що студентка передбачила функцію беззворотності моделі, завдяки чому водій може просто перейти в інший кінець вагона, і вирушити у зворотному напрямку.



Рис.2. Проектні пропозиції О. Стадницької, А. Розовенко, І. Карбюк, М. Старусьової

Перевага проекту М. Старусьової у естетичному поліпшенні традиційної форми тролейбуса, у якій мінімізовано зміни в формі кузова, а лише модернізувати вже існуючі моделі, у проекті зроблено акцент на символіко-стилістичному формотворенні.

Головною метою роботи А. Розовенко, стала естетизація образу тролейбуса за рахунок наповнення форми вітчизняною символікою, яка базується на стилістиці бджолиних стільників. Таким чином, асоціативно передавалося уявлення більше про Україну, як медову країну. Складовою стільника є бджолині чарунки формують конструкцію моделі.

Олександра Стадницька створила концептуальний дизайн екстер'єру тролейбуса на основі впізнаваного символу Києва – пам'ятника засновникам міста. В стилістиці екстер'єра кузова було використано характерні лінії пам'ятника, та розроблено дизайн наліпок (Либідь та брати). Задля кращих аеродинамічних характеристик були задіяні плавні форми силуетів, які зменшують опір повітря, та покращують економічну ефективність транспортного засобу.

Усі моделі пройшли аеродинамічне дослідження. Розвиток комп'ютерної техніки на сучасному етапі відкрив принципово нові можливості одержання кількісних оцінок та якісних характеристик повітряних потоків. Аеродинамічне дослідження проводилось у програмі Autodesk Flow Design. Коефіцієнт опору виявився на рівні $C_x < 0,61$, що є задовільним для міського громадського транспорту швидкість якого не перевищує 50км/год.

Комісія ТОВ «ПОЛІТЕХНОСЕРВІС» під головуванням директора департаменту технічної політики М. Ф. Вакуленка високо оцінила представлені на конкурс зразки і висловила зацікавлення у подальшій співпраці з національним транспортним університетом. Зокрема було зазначено, що невід'ємною складовою сучасного інноваційного процесу є інтеграція науки і виробництва, адже плідна співпраця закладів вищої освіти з промисловими підприємствами сприяє швидшому запровадженню наукових розробок до реалізації та забезпечує високий рівень конкурентоспроможності господарських організацій. Така співпраця також передбачає прогнозовані якісні зміни у системі вищої освіти щодо необхідності стимулювання фахового розвитку студентської творчої молоді.

Висновки

З огляду на досягнуті результати дослідження можемо зробити наступні висновки та узагальнення.

1. Визначена основна проблематика конкурсу — потреба оновлення морально застарілого транспортного парку громадського призначення у м. Києві, а також реновація його зовнішнього вигляду.
2. Проаналізовано існуючі аналоги електротранспорту та історичний контекст створення та функціонування трамвайно-тролейбусного сполучення.
3. Запропоновано шляхи розвитку та популяризації системи громадського транспорту, яка може значно поліпшити рівень комфортного пересування по місту Києву.
4. Розроблено концептуальні ескізи трамвайного вагона з урахуванням формотворчих новацій задіяних в існуючих аналогах. Враховано технічне завдання і норми ДСТУ.
5. Досягнуті позитивні результати практичного використання запропонованих розробок.
5. Виготовлено масштабні моделі зразків у комп'ютерній програмі 3Ds Max.

6. Враховано мистецькі та культурні традиції притаманні Київському регіону.
7. Доведено раціональність використання відеокамер замість звичних дзеркал.
8. Звернено увагу на доцільність розташування на зовні кнопок для відкривання дверей.
9. Запропоновано альтернативну інформаційну систему трамвайного маршруту.
10. Проведене аеродинамічне дослідження зразків у програмі Autodesk Flow Design.
11. Обґрунтована економічна доцільність проекту.

Список літератури

1. Бойчук А.В. Дизайнерское образование: выбор приоритетов в условиях импорта материальной культуры. Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Х.: 2002. № 6, 120 с.
2. Божко Ю.Г. Красота пользы и польза красоты. Х.: ХДАДМ, 2002. 72 с.
3. Веклич В. П. Поїзд із тролейбусів МТБ-82 з керуванням за системою «багатьох одиниць». Міське господарство України. К.: 1967, № 2. С. 37–38.: ISSN 0130-1284
4. Даниленко В.Я. Дизайн України у світовому контексті художньо-промислової культури: Монографія. Х.: ХДАДМ: Колорит, 2005. 340 с.
5. Даниленко В.Я. Основи дизайну. К.: ІЗМН, 1996. 92 с.
6. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Державний стандарт України. К.: ДСТУ 3008-95
7. Дизайн і ергономіка. Терміни та визначення. Державний стандарт України. К.: 1999.
8. Жуковський С. С., В. Й. Лабай В. Й. Аеродинаміка вентиляції: навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. 370 с.
9. Київському тролейбусу 80 років: вісім фактів про цей вид транспорту в столиці. Стаття на сайті журналу «Новий час». К.: Архів оригіналу за 2015–11–09. Звернення 22. 11. 2021.

DESIGN OF CONCEPTUAL VEHICLES BY STUDENT DESIGNERS: INTEGRATION OF THE LEARNING PROCESS INTO PRODUCTION

Mykola Kuzminets, Mykola Lampeka, Valerii Strilets, Yuriy Dubovenko

Abstract. The article presents the results of research conducted at the Department of Computer, Engineering Graphics and Design of the National Transport University on the impact of factors of natural, technological and cultural origin on the formation of public transport in the process of bachelors and masters of industrial designs for Kyiv. design work "Organization of the competition of students for the best exterior design of a tram car type TZUA and trolleybus type PTS". The object of research is the transport infrastructure of the capital of Ukraine. The subject of the research is the process of creating an optimal model of a trolleybus and tram for the city of Kyiv, taking into account aerodynamic, ergonomic and aesthetic qualities. The obtained research results can be used in the development of methodological courses and training programs in art education institutions, and can also be of practical importance — the best samples can be introduced into production.

Keywords: public transport, design, institutions of higher education, Kyiv

УДК 697.97-5

Вплив тиску всередині та ззовні будівлі на роботу децентралізованих систем вентиляції

Дар'я Вакуленко, Віктор Мілейковський

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. Децентралізовані системи вентиляції з утилізацією теплоти є енергоефективним рішенням забезпечення організації нормованого повітрообміну в приміщеннях житлових будівель. Такі системи не потребують значних капітальних витрат, не займають багато простору приміщення, мають індивідуальне регулювання та працюють за присутності людини у приміщенні. В роботі досліджується децентралізована регенеративна установка ТвінФреш. З метою підвищення ефективності роботи регенеративного теплоутилізатора було проведено ряд досліджень і розраховано коефіцієнти ефективності за різними підходами. Було визначено, що сили вітрового тиску, тяга, а також дисбаланс припливного та витяжного повітря мають значний вплив на ефективність роботи регенератора. Постає

необхідність проведення додаткових теоретичних досліджень для визначення ступеню впливу цих факторів на ефективність утилізації теплоти у регенеративній установці.

Ключові слова: ефективність; теплоутилізація; регенерація; тиск вітру; тяга; дисбаланс повітря.

Організація систем вентиляції у сучасних житлових будинках має відповідати вимогам енергоефективності, забезпечувати необхідні параметри внутрішнього середовища та мати мінімальний вплив на інтер'єр. Централізовані системи вентиляції з утилізацією теплоти складаються із припливної та/чи витяжної установки, мережі повітропроводів та повітророзподільників, які потребують спеціальних місць розташування та доступу для їх обслуговування. Децентралізовані системи забезпечують необхідний повітрообмін, мають індивідуальне регулювання, працюють за умови присутності людини та мають достатньо високий коефіцієнт ефективності теплоутилізації – до 95 %, але при цьому займають мало місця.

У попередніх роботах [1, 2] проводилися дослідження регенеративної децентралізованої установки ТвінФреш, виробництва компанії Вентс Україна. Такі децентралізовані установки встановлюються попарно: одна установка працює на приплив повітря, а інша на видалення повітря з приміщення (Рис. 1). На базі проведених теоретичних досліджень і моделювань роботи даного типу обладнання були отримані різні коефіцієнти ефективності утилізації теплоти (Таблиця 1).

Моделювання та розрахунки коефіцієнтів ефективності проводилися за умов постійних витрат повітря на приплив і на видалення, та без урахування дії вітрового тиску на зовнішню решітку регенеративної установки ТвінФреш. Було зроблено літературний огляд, який показав, що на роботу децентралізованих систем вентиляції мають суттєвий вплив фактори [4, 5]:

1. Сила вітрового тиску ззовні будинку та/або тяги, яка виникає за рахунок різниці тиску в приміщенні та поверхні фасаду будинку. Це є причиною завітрювання зовнішньої решітки установки ТвінФреш та паузи у циклі її роботи з наступним перезапуском.
2. Відхилення між витратами припливного та витяжного повітря, які проходять крізь керамічний акумулятор теплоти. Такий фактор має місце, коли вмикаються періодично діючі системи місцевого видалення повітря – у кухнях, ванних кімнатах чи санітарних вузлах. Оскільки у такі моменти витрата витяжного повітря, що проходить крізь регенератор знижується, то має місце і тимчасове зниження коефіцієнта ефективності утилізації теплоти.

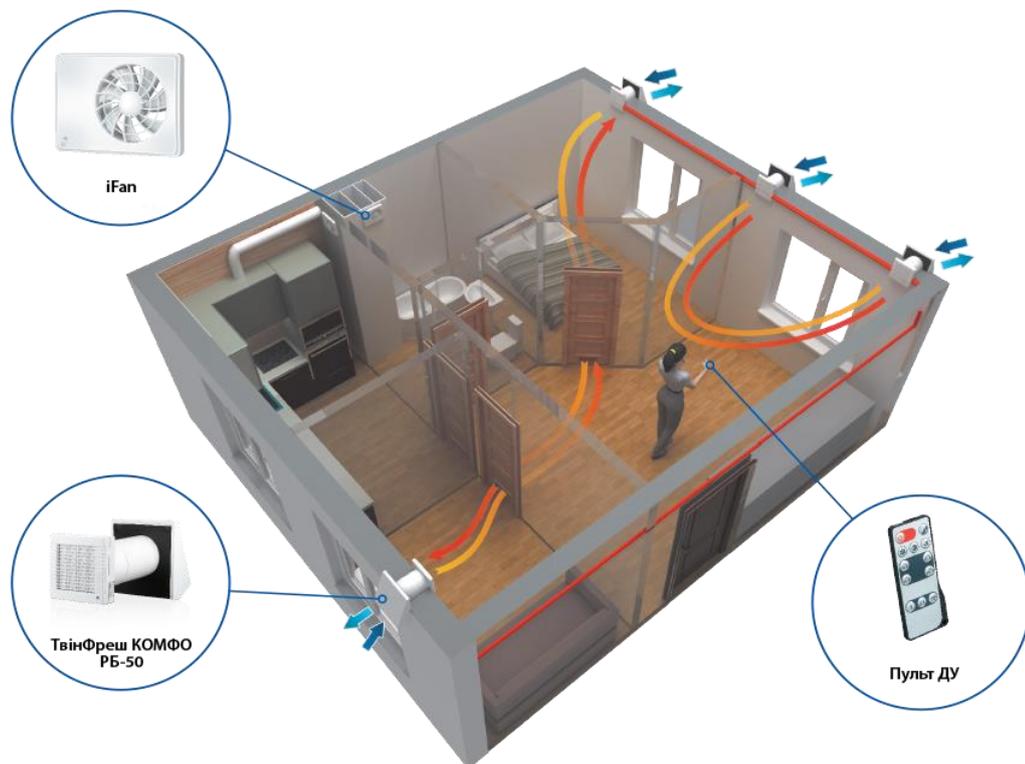


Рис.1. Приклад організації системи вентиляції на базі ТвінФреш Комфо РБ-50 [3]

Таблиця 1

Порівняння результатів моделювання керамічного регенератора за різними формулами [2]

Варіант формули		М. О. Міхеєва	З урахуванням числа Грасгофа	Рівняння енергії
Середній температурний коефіцієнт ефективності η		58,5	33,1	97,4
Відхилення $\varepsilon = 100 \eta - \eta' /\eta'$ від значення за формулою	М. О. Міхеєва ($\eta' = 58,5$)	-	43,42	66,50
	з урахуванням числа Грасгофа ($\eta' = 33,1$)	76,74	-	194,26
	рівняння енергії ($\eta' = 97,4$)	39,94	66,02	-

Коефіцієнт ефективності утилізації теплоти визначають згідно [6]:

$$E = \frac{G(X_{in} - X_{ext})}{G_{min}(X_{\ell} - X_{ext})}$$

де G – масова витрата повітря, кг/с; G_{min} – мінімальна масова витрата повітря, кг/с; X – параметр стану повітря: температура T , К; вологовміст d , к/кг, ентальпія I , кДж/кг; X_{in} – параметр стану повітря після теплоутилізатора; X_{ext} – параметр стану повітря, яке подається у тепловіддаючу частину теплоутилізатора; X_{ℓ} – параметр стану повітря, яке подається у теплоутилізуючу частину регенератора.

На основі зазначеного можна зробити наступні висновки. По-перше, потрібно дослідити вплив сили вітрового тиску та тяги на роботу установки ТвінФреш. По-друге визначити коефіцієнт ефективності утилізації теплоти регенеративного акумулятора з урахуванням дисбалансу між припливним та витяжним повітрям.

Список літератури

1. Mileikovskiy V., Vakulenko D., *Simulation of the efficiency of improved regenerative decentralised ventilators Vents TwinFresh*, *BoZPE*, Vol. 9, No 1/2020, 61-67, DOI: 10.17512/bozpe.2020.1.07.
2. Вакулєнко Д. І., Мілейковський В. О. (2022). Моделювання ефективності теплоутилізації регенеративного провітрювача за різними підходами. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*, 41, 32–38. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2022.41.32-38>
3. Провітрювачі ТвінФреш серії «Комфо РБ-50» [Електронний ресурс] / *Vents*. – Режим доступу: <https://vents.ua/series/twinfresh-comfo-rb-50>. – дата звернення 09.05.2022.
4. Mikola A, Simson R, Kurnitski J. *The Impact of Air Pressure Conditions on the Performance of Single Room Ventilation Units in Multi-Story Buildings*. *Energies*. 2019; 12(13):2633. <https://doi.org/10.3390/en12132633>
5. Merzkirch, Alexander & Maas, Stefan & Scholzen, Frank & Waldmann, Danièle. (2015). *Field tests of centralized and decentralized ventilation units in residential buildings - Specific fan power, heat recovery efficiency, shortcuts and volume flow unbalances*. *Energy and Buildings*. 116. 10.1016/j.enbuild.2015.12.008.
6. ANSI (American National Standards Institute)/AHRI. 2005. ANSI/AHRI 1060 – 2005: “Performance Rating of Air-to-Air Exchangers for Energy Recovery Ventilation Heat Equipment”, Air-conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, Arlington, VA. – Режим доступу: http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/standards%20pdfs/ANSI%20standards%20pdfs/AHRI%20Standard%201060%20%28I-P%29-2011.pdf. – дата звернення 12.05.2022.

THE IMPACT OF INSIDE AND OUTSIDE AIR PRESSURE ON THE OPERATION OF DECENTRALIZED VENTILATION SYSTEMS

Daria Vakulenko, Viktor Mileikovskiy

Abstract. Decentralized ventilation systems with heat recovery are an energy-efficient solution to ensure the organization of standardized air exchange in residential buildings. Such systems do not require significant capital

costs, do not take up much space, have individual regulation and work when a person stay in the room. The decentralized TwinFresh regenerative unit is investigated in the work. In order to increase the efficiency of the regenerative heat recovery device a number of studies were conducted and efficiency coefficients were calculated according to different approaches. It was determined that the forces of wind pressure, stack effect, as well as the imbalance of supply and exhaust air have a significant impact on the efficiency of the regenerator. There is a need for additional theoretical research to determine the degree of influence of these factors on the efficiency of heat utilization in a regenerative unit.

Keywords: efficiency; heat utilization; regeneration; stack effect; wind pressure; unbalanced airflow.

УДК 624.04

Аналіз доцільності використання BIM-систем для автоматизації будівництва

Богдан Волох, Віктор Босенко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. З метою покращення розуміння читачем суті BIM-систем в роботі проведений комплексний і детальний аналіз всіх аспектів даного методу. Крім цього, наведений короткий опис результатів використання даної технології в Китаї та Україні. BIM-системи стають все більш популярними і без всіляких сумнівів заслуговують на те, щоб бути прийнятими до уваги, як одна із найкращих технологій для автоматизації будівництва. До того ж, в роботі обговорюється використання деяких передових апаратних засобів, у тому числі використання 3D лазерних сканерів для збору зібраних даних та створення моделі хмари точок для кращої координації системи MEP, а також використання роботизованого тахеометра для швидкої установки.

Ключові слова: архітектура; індустріалізація; ефективність; BIM-системи: модульне будівництво

BIM (англ. Building Information Model або Modeling) — інформаційна модель (або моделювання) будівель та споруд, під якими у широкому розумінні розуміють будь-які об'єкти інфраструктури, наприклад інженерні мережі (водні, газові, електричні, каналізаційні, комунікаційні), дороги, залізниці, мости, порти та тунелі тощо.[1]

Інформаційне моделювання будівлі - це підхід до зведення, оснащення, експлуатації та ремонту (а також знесення) будівлі (до управління життєвим циклом об'єкта), який передбачає збір та комплексну обробку в процесі проектування всієї архітектурно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про будівлю з усіма її взаємозв'язками і залежностями, коли будинок і все, що має щодо нього, розглядаються як єдиний об'єкт.

Тривимірна модель будівлі, або іншого будівельного об'єкта, пов'язана з базою даних, у якій кожному елементу моделі можна присвоїти всі необхідні атрибути. Особливість такого підходу полягає в тому, що будівельний об'єкт проектується фактично як єдине ціле: зміна якогось з його параметрів спричиняє автоматичну зміну пов'язаних з ним параметрів та об'єктів, аж до креслень, візуалізацій, специфікацій та календарного графіка.

Традиційне проектування будівель значною мірою ґрунтувалося на двомірних технічних кресленнях. Інформаційне моделювання будівель розширює це за межі трьохвимірного простору, збільшуючи три основні просторові виміри (ширину, висоту і глибину) за допомогою показника часу як четвертого виміру (4D) та вартістю як п'ятого (5D). Тому BIM охоплює більше ніж просто геометрію. Він враховує безліч факторів, наприклад, просторові відносини, аналіз освітлення, географічну інформацію, а також кількість та властивості компонентів будівлі (наприклад, деталі виробників) [2].

BIM включає представлення дизайну у вигляді комбінацій «об'єктів» — розпливчастих і невизначених, загальних або специфічних для продукту, суцільних фігур або орієнтованих у порожньому просторі, які несуть свою геометрію, відносини та атрибути. Інструменти проектування BIM дозволяють витягувати різні види інформаційних матеріалів із моделі будівлі для створення креслень та інших цілей. Програмне забезпечення BIM також визначає параметри об'єкти; тобто об'єкти визначаються як параметри і відносини коїться з іншими об'єктами, тому, як якщо в пов'язаний об'єкт вносяться зміни, залежні об'єкти також автоматично змінюються. Кожен елемент моделі може містити атрибути для їх автоматичного вибору та впорядкування, надаючи

оцінки витрат, а також відстеження та облік матеріалів.

Модульне будівництво за допомогою BIM засноване на модульності будівельних компонентів. Модульне будівництво було застосоване до висотних багатоквартирних будинків компанією Wanke. Цей метод проектування більше підходить для будівель з плануваннями, що повторюються. Через обмеження на загальну площу та вартість кожної одиниці площі залишається не так багато варіантів розміщення доступного житла. Єдиною зміною є кількість одиниць на стандартному поверсі та планування одиниці житла (з обмеженими налаштуваннями розмірів). BIM використовується для підтримки параметричного проектування різних рівнів модуля. Перший рівень модульності, це розташування модулів. Блок модуля розбивається на модулі рівня кімнати, такі як модуль ванної кімнати або кухонний модуль. Наступний рівень модуля включає будівельні елементи, такі як стінові панелі або водопровідну систему.

Процес проектування починається з вибору потрібної кількості одиниць на основі їхньої компонування з бібліотеки компонування блоків (ULL), а потім складання плану поверху шляхом налаштування розмірів. Після того, як архітектурний проект буде запропонований, інженер-конструктор створить структурну модель, вибравши відповідні модулі з бібліотеки структурних модулів (SML), а потім надішле структурну модель механічному програмному забезпеченню для аналізу із набору компонентів, які полегшують проектування систем обслуговування.

На прикладі Китаю можна побачити, що перше застосування BIM в індустріалізації будівництва – це виявлення помилок та аналіз конструкції на етапі до будівництва. У будівлі зі збірного залізобетону є кілька сотень або тисяч збірних компонентів, тому при традиційному підході до розгляду будівельних креслень важко забезпечити відсутність помилок та недоліків під час будівництва. Розробляючи цифрові моделі для кожного компонента і поєднуючи всі моделі в процесі віртуального будівництва, SUCG (China, Shanghai), провідна китайська будівельна компанія з виробництва збірного залізобетону, вирішила багато простих проблем, що повторюються, які виникають на місці в процесі виготовлення.

Привабливою перевагою для виробників компонентів збірного залізобетону є те, що їх моделі BIM надають виробнику цінних даних для підтримки інтеграції проектування, виробництва, будівництва і навіть процесів експлуатації/обслуговування. [3] Дані моделі BIM також можуть підтримувати весь виробничий процес, включаючи замовлення матеріалу, логістику на заводі, упаковку, складування і транспортування на будівельний майданчик. SUCG створила платформу даних BIM для підтримки чотирьох систем: системи проектування та деталізації компонентів, системи управління виробництвом, системи управління будівництвом на місці та системи віддаленого моніторингу. Ця платформа значно покращила продуктивність проекту з якості, швидкості та вартості.

Деякі великі MEP підрядники розпочали практику концепції індустріальної установки. Моделі BIM надають підряднику точну геометричну інформацію про всі системи будівельного проекту. Системна інтеграція та координація, що підтримуються комп'ютерними засобами перевірки моделей, такими як Autodesk Navisworks та Solibri, вирішують стару проблему складності розташування та розмірів системи. [4] Хоча інформація про конструкцію системи MEP дуже точна в моделях BIM, фізичні умови установки, як правило, не такі ідеальні, як у моделі комп'ютера, через різні якості бетонних конструкцій. Нещодавно деякі досвідчені підрядники MEP почали використовувати обладнання лазерного 3D-сканування для створення моделі конструкції системи. Вони використовують його для калібрування проектною моделі системи MEP для отримання точних виробничих креслень. Саме такий підхід використовується у проекті міжнародного фінансового центру Пінань у Шеньчжені, Китай. Підрядник цього проекту також використовує роботизований тахеометр у поєднанні з моделями BIM для забезпечення більш швидкого та точного розташування систем MEP.

Згідно інформації приведеної вище можна прийти до висновку, що використання даної технології є надзвичайно перспективним напрямом, особливо в даний час коли будівництво і його розвиток виходять на перший план. І вже є позитивні результати, адже вже діє проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні»[5]. Це дасть змогу

контролювати якість та швидкість будівельних робіт, підвищити безпеку та надійність будівель, суттєво знизити імовірність помилок у проектах, зменшити вартість будівництва та оптимізувати витрати на стадії експлуатації.

Список літератури

1. BIM-технології: поняття, історія розвитку, перспективи
Веб-сайт: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=333304>
2. British Standards Institution (2019) BS EN ISO 19650: Organisation and digitisation of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling - Information management using building information modelling, London: BSI
3. Герасимов А.І., Ніконова Є.В. Перспективні напрямки застосування BIM-технологій в експлуатації будівель та споруд // Інженерний вісник Дону, 2019 №1.
4. Петров К.С., Кузьміна В.А., Федорова К.В. Проблеми впровадження програмних комплексів на основі технологій інформаційного моделювання (BIM-технології)
5. Проект розпорядження Кабінету Міністрів України “Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні”
Веб-сайт: <https://www.minregion.gov.ua/base-law/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskistyuu/proekt-rozporyadzhennya-kabinetu-ministriv-ukrayiny-pro-shvalennya-konczepczyi-vprovadzheniya-tehnologij-budivelnogo-informaczijnogo-modelyuvannya-vim-tehnologij-v-ukrayini/>

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING BIM SYSTEMS FOR CONSTRUCTION AUTOMATION

Bohdan Volokh, Igor Bosenko

Abstract. *In order to improve the reader's understanding of the essence of BIM-systems, a comprehensive and detailed analysis of all aspects of this method is presented in the paper. In addition, a brief description of the results of using this technology in China and Ukraine is given. BIM systems are becoming more and more popular and, without any doubt, deserve to be taken into account as one of the best technologies for construction automation. In addition, the paper discusses the use of some advanced hardware, including the use of 3D laser scanners to collect collected data and the creation of a point cloud model for better coordination of the MEP system, as well as the use of a robotic total station for rapid installation.*

Keywords: *architecture, industrialization, efficiency, BIM-system, modular construction.*

УДК 711.7

Теоретична енергоощадна модель систем трансформаційних етапів транспортної інфраструктури в містобудуванні

Анатолій Лепешко, Дмитро Прусов

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. *Темпи розвитку населених пунктів залежать від багатьох факторів, під впливом яких доводиться змінювати або ж удосконалювати транспортну інфраструктуру. На кожному етапі збільшення чи зменшення потреб в певних видах транспортних послуг, приводить до створення енерговитратних хвиль, як правило, фінансових та часових ресурсів. В даній роботі розглядається теорія енергоефективності при різних етапах розвитку населених пунктів. Така теорія допомагає визначити ключові елементи транспортної інфраструктури та показує яким чином, коли і з якими наслідками може бути використана зміна етапу в трансформації транспортної мережі. В роботі сформовано елементи класифікації видів транспортних послуг в населених пунктах різних типів та наведено енергоощадну модель системи трансформаційних етапів транспортних мереж. Також визначено ряд проблем які часто стають актуальними в різні періоди формування населених пунктів з пропозиціями їх вирішення.*

Ключові слова: енергоефективність; транспортні мережі; етапи трансформацій; транспортна інфраструктура; містобудування; населений пункт.

Містобудівна енергоефективність відіграє важливу роль у економіці не тільки в населених пунктах а й в самій державі. Саме раціональність підходів до етапного використання правильних заходів зміни транспортних систем населених пунктів, допомагає заощадити на енергоресурсах, таких як: фінанси, час, трудові та матеріальні ресурси. Кожна трансформація яка відбувається в населеному пункті починаючи від початкових стадій з малою, до глобальних стадій з великою кількістю населення. Кожна зміна вимагає переформування та трансформацію населеного пункту під новий тип. Згідно ДБН [1, с. 13], групування населених пунктів яке відбувається за чисельністю населення, наведено в таблиці.

Групування населених пунктів за чисельністю населення

Групи населених пунктів	Населення, тис. осіб	
	Міста	Сільські населені пункти
Найкрупніші (найзначніші)	Понад 800	Понад 5
Крупні (значні)	Понад 500 до 800	Понад 3 до 5
Великі	Понад 250 до 500	Понад 0,5 до 3
Середні	Понад 50 до 250	Понад 0,2 до 0,5
Малі*	До 50	Менше 0,2

* Включаючи селища.

Кожний тип населеного пункту створює різні навантаження на транспортну інфраструктуру і при закладеному низькому потенціалі починають створюватися значні проблеми, які в подальшому стає все важче вирішувати. «Основні проблеми функціонування транспортних систем міст України можна систематизувати і розділити на об'єктивні і суб'єктивні проблеми.

Об'єктивні проблеми:

- зростання рівня автомобілізації населення;
- збільшення інтенсивності використання індивідуально транспорту;
- зниження ефективності міського пасажирського транспорту через знос основних фондів;
- збільшення потреби жителів міста в переміщеннях;
- диспропорція між рівнем автомобілізації і темпами дорожнього будівництва.

Суб'єктивні проблеми:

- недосконалість системи організації та управління розвитком дорожньо-транспортного комплексу;
 - недостатня законодавча база на місцевому та регіональному рівні в галузі управління транспортною системою міста, регіону (зокрема, це стосується концесій, державно-приватного партнерства);
 - недоліки фінансування розвитку дорожніх мереж та транспортної інфраструктури;
 - невирішеність майнових питань і питань розмежування прав власності та управління об'єктами транспортної інфраструктури» [2].
- Всі ці проблеми починають загострюватися у населених тих пунктах, де фізичні можливості транспортної інфраструктури себе вичерпують і вимагають нових підходів. Часто в таких ситуаціях застосовуються локальні рішення, які допомагають зняти тиск на деякий період часу. Проте, розуміючи, що постійне збільшення населення у містах, з часом буде вимагати все новіших та глобальніших методів розвитку транспортної інфраструктури.

Визначення терміну та поняття складових транспортної інфраструктури зазначена в ДБН [1, с. 9,15], де вказано, що «транспортна інфраструктура це - система транспортних споруд і мереж», або ж «транспортні комунікації (транспортна інфраструктура), що складається з вулиць, доріг, об'єктів підприємств та мереж міського і зовнішнього транспорту». З цього слідує, що основними лінійними об'єктами транспортної інфраструктури виступають:

- дорожня мережа (легкові та вантажні автомобілі, спецтехніка, громадський транспорт);
- пішохідна мережа;

– мережа для руху мускульного транспорту (велосипеди, рикші), електросамокатів та героскутерів;

- залізнична мережа (метро, трамваї, електропоїзда);
- мережа вакуумних потягів (гіперлупи, поїзда на магнітній подушці);
- річкова та морська транспортна система,
- авіаційна транспортна система (літаки, гелікоптери, квадрокоптери).

Дані види транспорту використовуються за потреби у різній кількості, в різних типах населених пунктах. При збільшенні населення та відповідних транспортних потреб з їхніми послугами, з'являється важлива необхідність у трансформації транспортної інфраструктури населених пунктів. Як правило, це виділення більше територій та міського простору, яке потрібне для розташування або розширення об'єктів транспортної інфраструктури.

Досить часто містам з населенням понад 250 тис. осіб, доводиться зіштовхуватися з труднощами в транспортному секторі міста, так як при збільшенні кількості населення з 50 тис. до 250 тис., з 250 тис. до 500 тис., з 500 тис. до 800 тис. з 800 тис. до 1млн., 1,5млн. і т.д., з'являється кожного разу потреба трансформації під нові навантаження. Саме через це «поточний стан дорожньо-транспортної інфраструктури вимагає запровадження якісних змін, пов'язаних із посиленням безпеки на дорогах, розвитком пішохідної та велосипедної інфраструктури, удосконаленням послуг з пасажирських перевезень» [2] з зміною етапів розвитку населеного пункту.

У містах, що розвиваються можна прослідкувати тенденцію росту населення і передбачити відповідні навантаження в майбутньому. В таких містах як правило складаються стратегії транспортної інфраструктури, які прогнозують потреби у запровадженні, ліквідації або заміні тих чи інших видів транспортного обслуговування. Досить зручно планувати та вносити корективи, коли потенціал виділених територій під транспортну інфраструктуру закладений раніше, був добре спрогнозований. Проте, досить часто доводиться зіштовхуватися з ситуаціями, коли потрібно змінювати елементи транспортної інфраструктури, а варіантів, які можна састосувати, залишається дуже мало.

Така сама ситуація відбувається не тільки в містах а й взагалі на національному рівні, коли транспортна інфраструктура розбалансовується і найактуальнішими видами транспорту в такі моменти, стають індивідуальні, колісні транспортні засоби для перевезення пасажирів та вантажів. В той же час, відходячи від енергоефективних видів транспорту, які допомагають заощаджувати значну кількість коштів. На сьогоднішній день, в нашій державі діє транспортна стратегія України на період до 2030 року [3]. «З метою створення ефективно працюючого транспортного комплексу України та, як наслідок, досягнення Україною статусу регіонального транспортного хабу Стратегія враховує такі світові тенденції, що притаманні транспорту:

– використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, принципів мультимодальності, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу;

– застосування композитних матеріалів, зниження металоємності, покращення аеродинаміки та безпечності транспортних засобів;

– використання паливно-економічних та екологічних транспортних засобів, застосування альтернативних видів палива, “зелених” видів транспорту, пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури;

– масова контейнеризація перевезень, інтегрованість транспортних систем у складі ланцюгів поставок;

– прискорення і забезпечення своєчасної доставки пасажирів та вантажів завдяки швидкісним видам транспорту та розвитку логістики;

– глобалізація трансконтинентальних авіаційних перевезень в рамках потужних світових альянсів;

- зростання ролі дешевих авіаперевезень для прямих міжрегіональних сполучень;

- забезпечення транспортної доступності для населення, високої мобільності трудових ресурсів, збільшення дальності та скорочення часу поїздки пасажирів у мегаполісах;
- насичення автомобілізацією в розвинутих країнах, її подальше стримування у містах завдяки розвитку громадського та мускульного транспорту.

Для впровадження Стратегії будуть виконані завдання за такими основними напрямками:

- конкурентоспроможна та ефективна транспортна система;
- інноваційний розвиток транспортної галузі та глобальні інвестиційні проекти;
- безпечний для суспільства, екологічно чистий та енергоефективний транспорт;
- безперешкодна мобільність та міжрегіональна інтеграція» [3].

Така стратегія вимагає відповідних трансформаційних змін у населених пунктах і для того, щоб їм адаптуватися під нові вимоги необхідно використовувати нові інструменти міського планування. Такими інструментами виступають усі елементи, які входять до транспортної інфраструктури, від ефективності використання яких буде залежати енергоефективність самого населеного пункту, що допоможе мінімізувати значні енергозатрати.

В такому ракурсі, теоретичною енергоощадною моделлю виступає об'єднаний комплекс трансформаційних етапів, які використовуються як засіб прогнозування та оптимізації транспортної інфраструктури. Така модель допомагає передбачити використання енергоощадних складових транспортної інфраструктури. Розглянемо основні етапи розвитку населених пунктів, наведених у таблиці, що вказувалася вище, з складовими транспортної інфраструктури які доцільно використовувати в більшості випадків:

1й етап - сільські населені пункти (0,2-5тис. населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа; використання приватного транспорту, таксі; зовнішнього маршрутного громадського транспорту; станція технічного обслуговування; автозаправна станція може бути одна на декілька населених пунктів.

2й етап - середні міста (5-50тис. населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа; використання приватного транспорту, таксі; використання громадського транспорту (маршрутного таксі); зовнішнього маршрутного громадського транспорту; використання однорівневих паркінгів та автостоянок; зупинки громадського транспорту; станції технічного обслуговування; автостанція; автозаправна станція в структурі населеного пункту.

3й етап - середні міста (50-250тис. населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа, додаткові смуги автодоріг для громадського транспорту та спецслужб; використання приватного транспорту, таксі; використання громадського транспорту (маршрутного таксі, тролейбуси); зовнішнього маршрутного громадського транспорту, залізничні колії; використання однорівневих паркінгів та автостоянок; зупинки громадського транспорту, складські та розвантажувальні бази; станція технічного обслуговування, тролейбусне депо, ремонтна служба систем транспортної інфраструктури; автостанції, залізничний вокзал; річковий та/або морський порт (за наявності судноплавних річок та морів); автозаправні станції в структурі населеного пункту.

4й етап - великі міста (250-500тис. населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа, додаткові смуги автодоріг для приватного транспорту, для громадського транспорту та спецслужб, дворівневі транспортні вузли; доріжки для руху мускульного транспорту, електросамокатів та героскутерів; використання приватного транспорту, таксі; використання громадського транспорту (маршрутного таксі, тролейбуси); зовнішнього маршрутного громадського транспорту, залізничні колії, авіаперельоти; використання багаторівневих паркінгів, автостоянок; зупинки громадського транспорту, складські та розвантажувальні бази; використання пересадочних вузлів, підземних та наземних переходів; станції технічного обслуговування, тролейбусне та автобусне депо, ремонтна служба систем транспортної інфраструктури; автостанції, залізничний вокзал, аеропорт, річковий та/або морський порт (за наявності судноплавних річок та морів); автозаправні станції в структурі населеного пункту.

5й етап - крупні міста (500-800тис. населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа, додаткові смуги автодоріг для приватного транспорту, для громадського транспорту та спецслужб, дворівневі транспортні вузли; доріжки для руху мускульного транспорту, електросамокатів та героскутерів; використання приватного транспорту, таксі; використання громадського транспорту

(маршрутного таксі, тролейбуси, трамваї); зовнішнього маршрутного громадського транспорту, залізничні колії, авіаперельоти; використання багаторівневих паркінгів, автостоянок; зупинки громадського транспорту, складські та розвантажувальні бази; використання пересадочних вузлів, підземних та наземних переходів; станції технічного обслуговування, тролейбусне, автобусне та трамвайне депо, ремонтна служба систем транспортної інфраструктури; автостанції, залізничний вокзал, аеропорт, річковий та/або морський порт (за наявності судноплавних річок та морів); автозаправні станції в структурі населеного пункту.

6й етап - найкрупніші міста (800 і більше населення): розвинута пішохідна та автомобільна мережа, додаткові смуги автодоріг для приватного транспорту, для громадського транспорту та спецслужб, багаторівневі транспортні вузли; розвинута мережа доріг для руху мускульного транспорту, електросамокатів та героскутерів; використання приватного транспорту, таксі; використання громадського транспорту (маршрутного таксі, тролейбуси, трамваї, метрополітен); зовнішнього маршрутного громадського транспорту, залізничні колії, авіаперельоти; використання багаторівневих паркінгів, автостоянок; зупинки громадського транспорту, складські та розвантажувальні бази; використання пересадочних вузлів, підземних та наземних переходів; станції технічного обслуговування, тролейбусне, автобусне та трамвайне депо, ремонтна служба систем транспортної інфраструктури; автостанції, залізничний вокзал, станції метрополітену, аеропорт, річковий та/або морський порт (за наявності судноплавних річок та морів); автозаправні станції в структурі населеного пункту.

7й етап - міста з населенням від 10млн. і більше (наша концепція): розвинута відокремлена від автомобільної пішохідна мережа; розвинута автомобільна мережа, додаткові смуги автодоріг для приватного транспорту, для громадського, поштового транспорту та спецслужб, багаторівневі транспортні вузли, багаторівнева система автодоріг; виокремлена та об'єднана з пішохідною мережа доріг для руху мускульного транспорту, електросамокатів та героскутерів; використання приватного транспорту, таксі, квадрокоптерів; використання громадського транспорту (маршрутного таксі, тролейбуси, трамваї, метрополітен, міський вакуумний або пневмопотяг на магнітній підвісці, гелікоптери); зовнішнього маршрутного громадського транспорту, залізничні колії, зовнішній вакуумний або пневмопотяг на магнітній підвісці, авіаперельоти; використання багаторівневих, автоматизованих паркінгів, автостоянок, паркінг гелікоптерів, паркінг квадрокоптерів; зупинки громадського транспорту, вертолітні майданчики, майданчики квадрокоптерів; використання пересадочних вузлів, підземних та наземних переходів; станції технічного обслуговування, тролейбусне, автобусне та трамвайне депо, ремонтна служба систем транспортної інфраструктури; багаторівневі автостанції, залізничний вокзал, станції метрополітену; трубопровідна система заправки транспорту нафтопродуктами; аеропорт, річковий та/або морський порт (за наявності судноплавних річок та морів).

Кожний з етапів передбачає процес трансформації транспортної інфраструктури з одного типу населеного пункту, на інший. Розуміння потреб в трансформаціях допомагає виділити енергоощадні види елементів транспортної інфраструктури, що в свою чергу передбачає майбутню необхідність в організації територій та адаптацію до нових трансформаційних процесів. Така модель враховує можливість не тільки при збільшенні населення, а й при його зменшенні. Переходячи на нижчий етап також потрібна трансформація, для збалансування транспортної інфраструктури, надаючи можливість заощадити лишні капіталовкладення. Прогноз зменшення населення допомагає вказати які елементи будуть енерговитратними і відповідно як їх трансформувати, щоб енергоефективність не зменшилася а навпаки збільшилася.

Прилюбій трансформації є також супутні елементи які допомагають енергоефективності населеного пункту, а саме організація дорожнього руху, підбір різних типів дорожнього покриття, проведення транспортної політики, використання інтелектуальних мереж, засобів створення розумного міста та інше. Також слід відзначити важливість розвитку екологічної мережі в складі транспортної інфраструктури, яка повинна бути на всіх трансформаційних етапах. Це стосується як захисту від акустичного впливу так і боротьби з шкідливими викидами.

Екологічний баланс як правило виступає енерговитратним елементом, так як вимушує транспортну інфраструктуру довантажувати додатковими заходами, щоб надати можливість

перебувати в ній живих організмів. Тому екологічній складовій необхідно приділити важливу увагу, зробивши її найменш енерговитратною та найбільш ефективною. Одним з таких рішень пропонується застосувати роздільну систему руху технічного транспорту та пішоходів [4, с. 50]. Така система дозволяє збільшити пропускну здатність на автодорогах та створити максимально екологічні умови для пішохідного переміщення мешканців міст.

Також одним з засобів енергоефективності містобудування виступає організація логістичних зв'язків, відповідно, чим вона краще організована тим вищий показник енергоефективності. Швидкість переміщення товарів, допомагає заощаджувати час та збільшувати мобільність самого населеного пункту. Важливим показником є швидкість доставки людей та товарів на далекі відстані, просуваючись міським середовищем, де часто утворені затори знижують такі показники. Тому для цього слід розглядати мережу транспортування на далекі дистанції. Таким чином утворюючи нові гіперрайони міста, між якими створюється відокремлена транспортна мережа, із значно меншою кількістю станцій і значно більшу швидкість переміщення між ними. Така логістика допоможе переміщуватися великій кількості людей на далекі дистанції у короткі проміжки часу, після чого можна буде замінити вид транспорту та добратися до назначеного місця.

Підводячи підсумок вищесказаного, в першу чергу, слід зауважити актуальність тематики через кількість існуючих проблем, які наразі присутні в багатьох населених пунктах, починаючи від малих сіл до найкрупніших міст. Наявність таких проблем, свідчить про складність прийняття рішень, щодо енергоефективності, зокрема містобудівних процесів трансформації транспортної інфраструктури. Для того, щоб прийняти краще рішення необхідно мати дієвий та якісний інструментарій, з допомогою якого можна побачити переваги та недоліки кожної ситуації яка склалася в багатьох населених пунктах.

З допомогою теоретичної енергоощадної моделі яка викладена вище, можна побачити основний базис компонентів усієї транспортної інфраструктури різних типів населених пунктів. Поділення цих складових за етапами розвитку, допомагає побачити які транспортні послуги могли б розглядатися для енергоощадного використання. Слід зауважити, що така модель характерна не тільки для населених пунктів в яких зростає населення, також досить часто можна зіштовхнутися з явищем коли населення зменшується. В таких випадках необхідно приймати рішення, щодо заміни транспортних послуг, здавалось би на менш енергоефективний. Проте, необхідно розуміти, що ліквідовуючи один з них, слід покращити інші, які знаходяться на нижчому рівні. Тоді трансформація збалансується більш плавно та не призведе до неконтрольованих навантажень на інші види транспортних послуг. Така трансформація може дати значно більший корисний ефект ніж утримувати складнішу систему вищого рівня. Використовуючи таку модель, як інструмент балансування трансформацій у транспортній інфраструктурі населених пунктів, можна буде очікувати більш якісні показники, щодо енергоощадного містобудування.

Список літератури

1. ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування та забудова територій". Київ, Мінрегіон України - 2019.
2. Засадко В.В. Проблеми дорожньо-транспортної інфраструктури та їхній вплив на гарантування економічної безпеки міст України. Науковий вісник Херсонського державного університету. Режим доступу: http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_15/1/9.pdf.
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України "Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року" від 30 травня 2018р. №430-р Київ. Редакція від 07.04.2021. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
4. Просторове планування: містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади. Зб. наук. пр. Вип. II. В 2-х ч. Київ-Тернопіль : КНУБА, «Бескиди», 2021. Частина 2. 184 с.
5. Dubova S. Transport priorities of urban development / IX International Scientific Conference from the series: Scientific review in the discipline of architecture and urban studies / Principles, practice expectations. Poland, 27.11.2020.
6. Prusov D. Numerical Research of the Retaining Constructions During Reconstruction of the Transport Structures // Transport. –Vol.27, Issue 4. 2012. – Ps. 357–363. (DOI: 10.3846/16484142.2012.750623).

THEORETICAL ENERGY SAVING MODEL OF THE SYSTEM OF TRANSFORMATION STAGES OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN URBAN CONSTRUCTION

Anatolii Lepeshko, Dmitry Prusov

Abstract. *The pace of development of settlements depends on many factors, under the influence of which it is necessary to change or improve the transport infrastructure. At each stage, the increase or decrease in the need for certain types of transport services, leads to the creation of energy-intensive waves, usually financial and time resources. This paper considers the theory of energy efficiency at different stages of development of settlements. This theory helps to identify key elements of the transport infrastructure and shows how, when and with what consequences a change of stage in the transformation of the transport network can be used. The elements of classification of types of transport services in settlements of different types are formed in the work and the energy saving model of the system of transformation stages of transport networks is given. Also identified a number of problems that often become relevant in different periods of formation of settlements with proposals for their solution.*

Keywords: *energy efficiency; transport networks; stages of transformations; transport infrastructure; urban planning; settlement.*

УДК 621

Вдосконалення методів виробництва об'ємних залізобетонних конструкцій

Борис Корнійчук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. *Розглянуто основні методи виробництва об'ємних залізобетонних конструкцій на прикладі залізобетонних кілець. Залізобетонні кільця широко застосовуються в будівництві і виготовляються безвібраційними та вібраційними методами. Виявлено, що при всій простоті безвібраційні методи мають суттєві недоліки, до яких відносяться низька якість та продуктивність, значні витрати цементу. З'ясовано, що вібраційні методи в деякій мірі усувають відмічені недоліки. Оглядом конструкцій виявлено, для виробництва залізобетонних кілець подібні методи зводяться до застосування вібромайданчиків і віброустановок. Їх застосування економічно недоцільно у зв'язку із високою матеріалоємністю машин і енергоємністю процесу. При цьому, існуючі методи описання механізму віброуцільнення бетонних сумішей в своїй основі складаються із уявлення про можливі рух частинок суміші або стадії ущільнення суміші. Однак практичні результати щодо параметрів чи режимів виробництва залізобетонних кілець з конкретними числовими даними майже відсутні. Здійснений аналіз існуючих методів виробництва об'ємних залізобетонних конструкцій на прикладі залізобетонних кілець дозволив запропонувати вдосконалений метод із розташуванням віброзбудника всередині форми. Досліджено та визначено режими та параметри запропонованого методу. Таке рішення дало можливість найбільш ефективно використати вібрацію і досягти бажаного результату.*

Ключові слова: *залізобетонне кільце, вдосконалення, метод, форма, віброзбудник, бетонна суміш, процес, режими, параметр, амплітуда коливань, частота.*

Залізобетонні кільця широко застосовуються в будівництві і виготовляються безвібраційними та вібраційними методами. При всій простоті безвібраційні методи мають суттєві недоліки до яких відносяться низька якість та продуктивність, значні витрати цементу. Вібраційні методи реалізуються застосуванням вібромайданчика (рис.1, а) на який форма з бетонною сумішшю 1 встановлюється на вібромайданчик 2 і коливанню піддається вся система «вібромайданчик – форма – суміш».

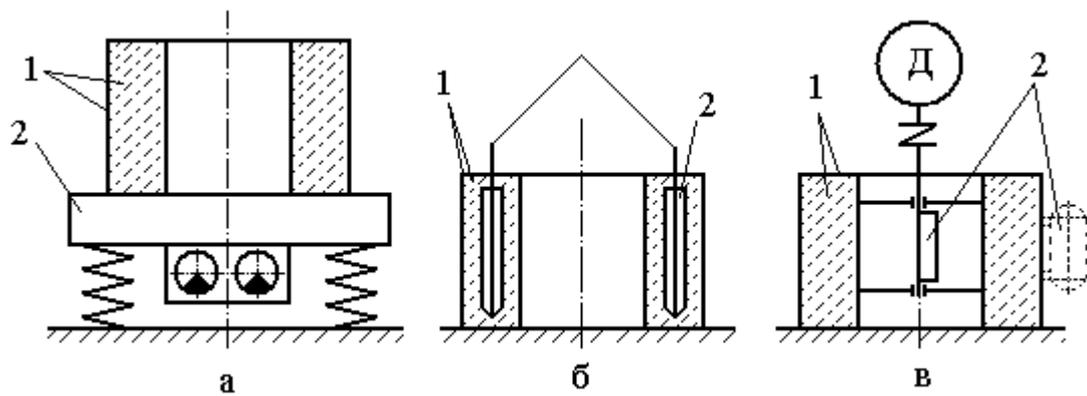


Рис.1. Методи вібраційного формування трубчастих виробів: 1 – форма з бетонною сумішшю; 2 – робочий орган.

До недоліків методу відносяться: висока енергоємність та матеріалоємність, недоуцільнення верхніх шарів трубчастого виробу, необхідність наявності великого парку форм. Внутрішнє ущільнення (рис.1,б) відрізняється від об'ємного безпосереднім контактом внутрішнього вібратора 2 з бетонною сумішшю. Цей метод застосовується для формування кілець із значною товщиною стінок. Метод також характеризується високою матеріалоємністю із-за необхідності великого парку форм. Крім того, при виведенні вібратора залишаються невеликі отвори де суміш має меншу міцність. Тому в сучасному виробництві застосовується рідко. Особливої умови заслуговує метод зовнішнього ущільнення. На рис.1., в показано два рішення методу – навісні вібратори (показані пунктиром), та спеціального віброосердя. Навісні вібратори застосовуються вкрай рідко, оскільки його ефективність низька, швидко зношуються форми, виходять із ладу вібратори. Застосування вібраторів всередині форми, які кріпляться до внутрішнього кільця і передають енергію ущільнення безпосередньо через це кільце є більш ефективним методом, однак верхня частина виробу, як правило, недоуцільнюється [1-3]. Очевидно, що передача коливань безпосередньо до суміші підвищує ефективність подібних установок, однак наявність одного збудника зменшує вібраційний вплив у верхній та нижній частинах кільця, що приводить до утворення зон недоуцільнення суміші. В роботі [4] запропонована конструкція установки з передачею коливань безпосередньо до суміші двома збудниками коливань (рис 2).

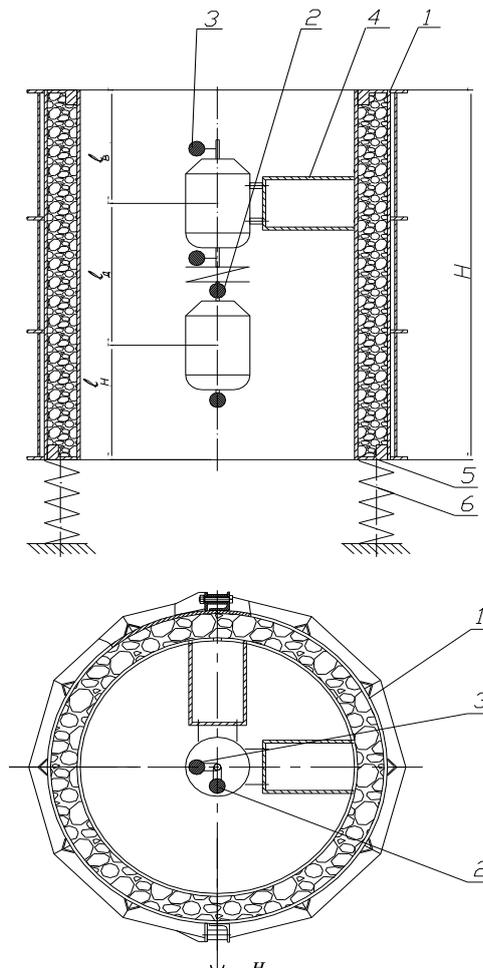


Рис. 2 Конструкція віброустановки із двома збудниками коливань: 1 – форма, 2,3 – вібрзбудники коливань; 4 – основа для кріплення збудників коливань; 5 – нижня рама; 6- опори.

Дослідженнями передбачена методика, у відповідності до якої здійснювалися заміри амплітуд коливань в шести точках, тиск бетонної суміші як і сили тертя оцінювали шляхом розрахунку за формулами, наведеними в роботі [5], а числові значення параметрів (амплітуди, частота, час) встановлювалися за експериментальними дослідженнями. Встановлені закономірності зміни амплітуд горизонтальних коливань в залежності від часу ущільнення, змушуючої сили та кута зсуву фаз між положеннями дебалансів. Так, за час ущільнення (60 с) амплітуда коливань на піддоні форми зменшилася від значення 0,41 мм до 0,25 мм, що обумовлено збільшенням інерційних властивостей маси бетонної суміші. По висоті форми, що здійснює коливання із явним ефектом прецесії, амплітуда коливань по висоті форми збільшується. Наприклад, на піддоні амплітуди коливань 0,41 мм, а на верхній частині форми амплітуда сягає величини 0,58 мм. Розроблена методика інженерного розрахунку раціональних параметрів робочого процесу ущільнення та запропоновані основні положення створення вдосконаленої віброустановки.

Список літератури.

1. Волков Л.А. Комплект технологического оборудования для изготовления железобетонных труб методом центрифугирования. / Бетон и железобетон. – 1980. – №10. – С. 12–13.
2. Белин Б.И., Качерец И.К. Уплотнение бетонной смеси при изготовлении объемных элементов / Белин Б.И., // Бетон и железобетон. – 1985. – №5. – С. 25–26.
3. Толорая Д.Ф., Синева Е.А., Гусев Б.В. и др. Перспективы развития виброформовочного оборудования / Бетон и железобетон. – 1991. – №1. – С. 20–21.
4. Корнійчук Б.В. Вибір та обґрунтування конструктивної схеми віброустановки для формування залізобетонних кілець. Техніка будівництва. – 2007. – №20. – С. 67–74.

5. Назаренко І.І., Корнійчук Б.В. Теоретичні дослідження руху віброустановки з вертикальним розташуванням збудників коливань / Техніка будівництва. – 2009. – №22. – С. 35–46.

Improving the methods of production of bulk reinforced concrete structures

Boris Korniychuk

Abstract. The main methods of production of three-dimensional reinforced concrete structures on the example of reinforced concrete rings are considered. Reinforced concrete rings are widely used in construction and are made by vibration-free and vibration methods. It was found that for all its simplicity, non-vibration methods have significant disadvantages, which include low quality and productivity, significant cement costs. Vibration methods have been found to eliminate some of the shortcomings. A review of structures revealed that for the production of reinforced concrete rings such methods are reduced to the use of vibrating platforms and vibrating plants. Their use is not economically feasible due to the high material consumption of machines and energy consumption of the process. In this case, the existing methods of describing the mechanism of vibratory compaction of concrete mixtures basically consist of an idea of the possible movement of the particles of the mixture or the stage of compaction of the mixture. However, practical results on the parameters or modes of production of reinforced concrete rings with specific numerical data are almost non-existent. The analysis of existing methods of production of three-dimensional reinforced concrete structures on the example of reinforced concrete rings allowed us to propose an improved method with the location of the vibrator inside the mold. The modes and parameters of the proposed method are investigated and determined. This solution made it possible to most effectively use vibration and achieve the desired result.

Key words: reinforced concrete ring, improvement, method, shape, vibrating agent, concrete mix, process, modes, parameter, amplitude of oscillations, frequency.

УДК 711.25

Забезпечення енергоефективності сільських територій в умовах трансформацій світового устрою (на прикладі с. Ровжі, Київської області)

Марта Михіденко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. На даний момент сільські території України зазнають складнощів економічного та соціального зростання, розвитком інфраструктури, розширенням виробництва місцевої продукції, охороною природи, розвитком місцевої культури та збереженням культурної спадщини. Мета цього дослідження полягає в аналізі проблем с. Ровжі, та опис конкретних пропозицій щодо перетворення архітектурного середовища с. Ровжі та прилеглих до нього територій, спрямованих на підвищення енергоефективності та якості життя загалом. Методологія дослідження включає аналіз актуальних проблем та нереалізованих можливостей території села Ровжі; просторове моделювання комплексного розвитку території; формування проектних пропозицій щодо удосконалення архітектурного середовища поселення. Розроблений під час дослідження план розвитку території дозволяє розглянути альтернативні пропозиції щодо використання потенціалу території, способів модернізації системи обслуговування та досягнення екологічної рівноваги. У альтернативному генеральному плані с. Ровжі приділяються увага внесення змін до функціонального використання території, удосконалення інфраструктури центру та підвищення енергоефективності будівель. Проектні об'ємно-просторові пропозиції центру села, демонструє можливі підходи до використання відновлювальних джерел, передбачається використання переробних матеріалів. В результаті проведеного дослідження було запропоновано нові способи вирішення проблем конкретної місцевості, які можуть бути корисними для досягнення цілей енергоефективності під час трансформацій світового устрою.

Ключові слова: «енергоефективність»; «сільські території»; «комфорт»; «безпека»; «об'ємно-планувальні рішення».

Сучасний світ переживає етап трансформацій в різних сферах людської діяльності. З'являються тенденції пов'язані зі зміною світового устрою. В умовах війн і санкцій визначається наявність та взаємодія нових партнерських відносин між країнами. Наряду з невизначеністю та

непередбачуваністю світового устрою, відбуваються зміни у кліматі та погіршення екологічної сфери.

Тому менш розвинутим країнам потрібно адаптуватися до сучасних викликів і світових тенденцій. В наш час в країні спостерігається стрімке зростання аварійного та старого житла, існують особливі складності у забезпеченні житлових об'єктів елементами інженерної, дорожньо-транспортної та соціальної інфраструктури, у великих містах знижується рівень безпеки, тому актуальність розвитку сільських територій надзвичайно велика.

В умовах економічного спаду нашої країни, зруйнованого житлового сектору, розглядається можливість використання вільних територій сільських територіальних громад. Залучення органів самоврядування і мешканців громад до ефективного використання ресурсів, а надання переселенцям можливості тимчасового житла підвищить економічний клімат громад.

Але виникає гостре питання звідки громаді брати гроші на впровадження енергоефективних заходів? Звичайно без підтримки держави та партнерів-інвесторів, такі заходи неможливі. Важливим фактором є залучення громад до розробок моделей розвитку територій. Такі моделі дозволяють визначати пріоритетні напрями діяльності місцевих мешканців. Потрібно навести лад з інфраструктурою територій, вивчити сильні та слабкі сторони, розглянути можливості і загрози громади. Надійне, економічне та екологічно чисте енергозабезпечення сільських територій є найважливішою умовою інноваційного розвитку країни.

Закордонний досвід будівництва будівель здебільшого фокусується на захисті довкілля, йдеться про економічні та прибуткові заходи щодо скорочення емісій. Домобудування більшості країн сприймається як єдина система, що дозволяє призвести до вдосконалення нових проєктів. Основними напрямками системного підходу є: 1) опалення та охолодження приміщення, 2) гаряча вода, 3) побутові прилади, 4) освітлення, 5) холодильники та морозильники [1].

В рамках проєкту CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) збудовано житло за стандартом пасивного будинку з наукового погляду. Для зменшення енергії на опалення було реалізовано такі заходи: хороша теплоізоляція, пасивне використання сонячної енергії, суперзасклення, активна вентиляція [2].

Для дослідження було обрано невелике село Ровжі, яке знаходиться поряд з Київським водосховищем на північному сході Київської області. Історії формування села (хутора) починається з 1925 року. З історії відомо небагато. Хутор слугував пунктом контролю заготівлі лісоматеріалу. Населення за переписом 2001 року становило 37 осіб. За 7,5 км від села Ровжі знаходиться дачний кооператив. Кооператив поділено на безліч садових товариств. Найбільше СТ - "Дружба" - тягнеться від каналу вглиб. Окрім цього товариства на землях кооперативу знаходяться й інші СТ – "Патріот", "Слава", "Ветеран Війни", "Лайнер", "Вишневий"[3].



Рис.1. Схема розташування території у планувальній структурі району

На основі кадастрової карти України та незатвердженого генерального плану села Ровжі, було розроблено схему функціонального призначення села. Виявлено, що село має дуже багато сільськогосподарських земель, які використовуються не за призначенням.

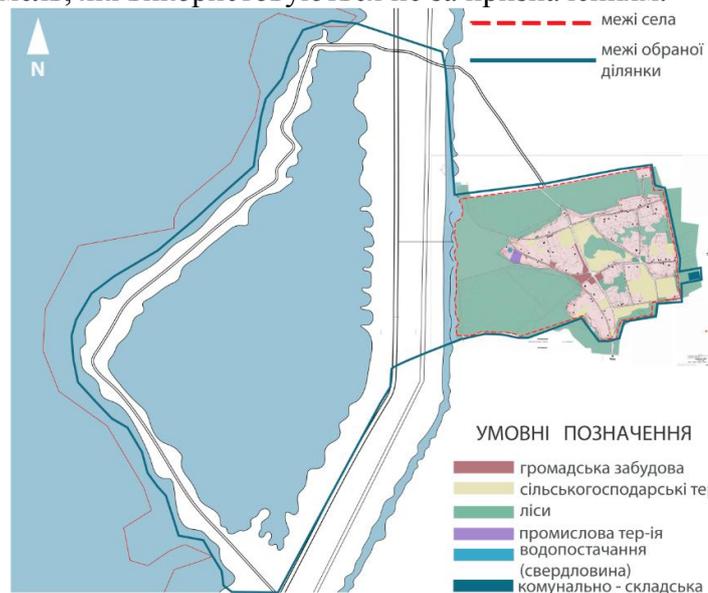


Рис. 2. Схема існуючого функціонального призначення села Ровжі та прилеглих територій.

Для забезпечення високої ефективності розробок з приводу просторового планування та енергоефективності було розглянуто прилеглі території, які можуть бути використані в якості цілей зростання економічного, соціального та екологічного розвитку.

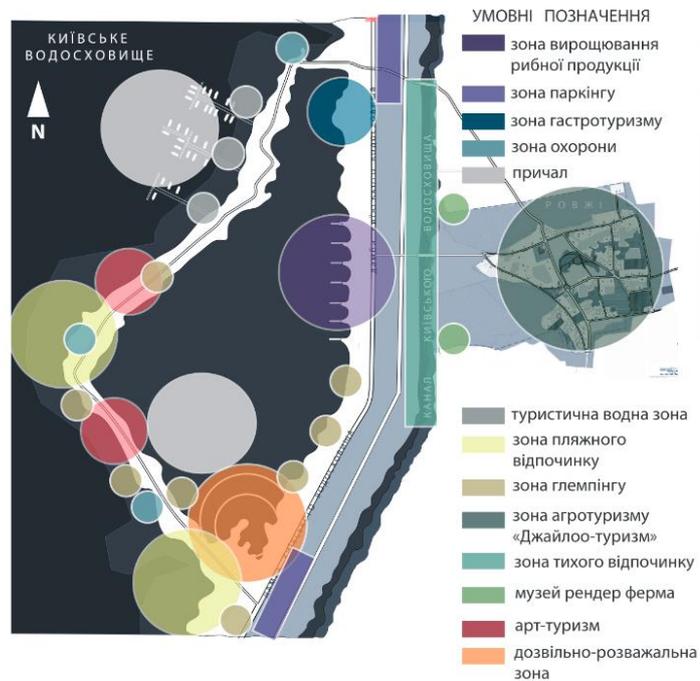


Рис. 3. Схема проектного функціонального призначення села Ровжі та прилеглих територій.

На рис. 3. зображено концепцію функціонального використання досліджуваної території. Згідно цієї концепції с. Ровжі отримує статус агромістечка, в якому враховані високий рівень проживання місцевих жителів, збудовано сучасний центр, та організовано можливість проведення заходів «Джайлоо-туризму».

Досягнення високих показників у сільському господарстві передбачається шляхом: реалізації комплексного підходу до енергопостачання за рахунок впровадження у великі сільськогосподарські організації та переробні підприємства електрогенеруючих установок, а також будівництва когенераційних установок та інших енергетичних комплексів на біомасі та вуглеводневому паливі; використання соломи в енергетичних цілях та використання геліоводонагрівачів; будівництва локальних біогазових комплексів у сільськогосподарських організаціях, що займаються виробництвом великої рогатої худоби, свиней, птиці; перехід на нові енергоефективні технології; впровадження енергоефективних систем освітлення у сільськогосподарському виробництві та житлово-комунальному секторі.

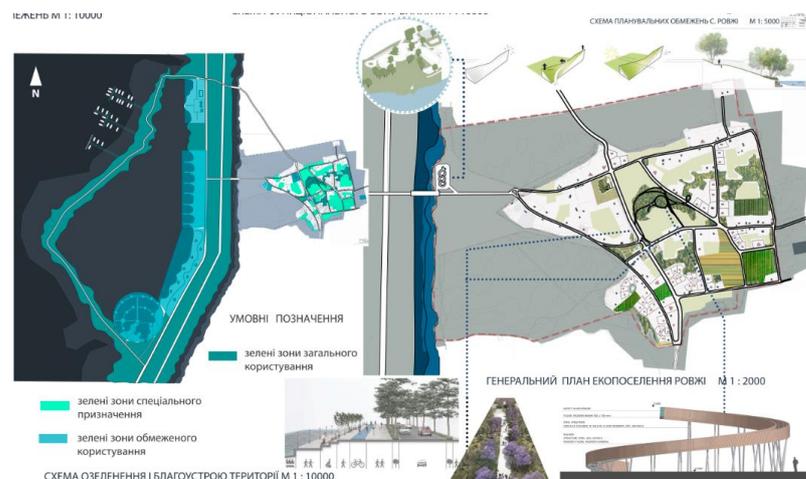


Рис. 4. Схема озеленення досліджуваної ділянки та проектна пропозиція застосування енергоефективних

У громадській забудові використовувати систему зеленого фасаду та зелених дахів; екологічних утеплювачів на основі пило-матеріалів стружки, соломи. Щодо туристичного об'єкта в центрі села, пропонується розробити панорамну доріжку для вело-маршруту та піших

прогулянок. Панорамної доріжка слугує не тільки, як розважальний об'єкт, а й ще включає в себе добуток кінетичної енергії, за допомоги «розумної» тротуарної плитки.

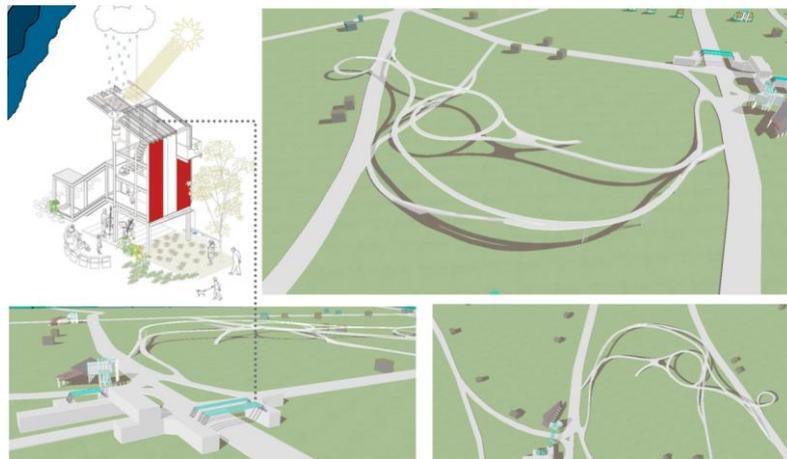


Рис. 5. Проект центру с.Ровжі, використання відновлювальних джерел енергії.

Отже, в першу чергу необхідно створити гідний рівень життя сільських громадян, які забезпечують життєдіяльність країни, відновити розвиток сільськогосподарського сектору, розвинути соціальну інфраструктуру села, задля створення абсолютної продовольчої безпеки нашої країни.

Особливо важливо приділити увагу розробці нових об'ємно-планувальних рішень, пошуку оптимальних конструктивних рішень з пріоритетним використанням місцевих будівельних матеріалів, що відповідають вимогам енергоефективності, ефективності капітальних вкладень, комфорту та безпеки, а також використанню відновлюваних джерел енергії для інженерних систем протягом повного життєвого циклу будівлі.



Рис. 6. Комплексний план розвитку досліджуваної території

Список літератури

1. .Ernst von Weissacker, Karlson Hargroves, Michael H. Smith. Factor Five // The formula for sustainable growth: report do the Roman Club. M: AST-PRESS BOOK, 2013. 368 p.
2. .Electricity Heat in World in 2006 // COUNTRY CODE 29&Submit Submit (International Energy Agency), Zugriff 23. Februar 2009. URL: www.iea.org/Textbase/stats/electricity-da.asp?
3. .ПІРНІВСЬКА ГРОМАДА, Вишгородський район, Київська область Електронний ресурс URL : <https://gromada.info/gromada/pirnivska/#4088>

ENSURING ENERGY EFFICIENCY OF RURAL AREAS IN THE CONDITIONS OF WORLD ORDER TRANSFORMATIONS (ON THE EXAMPLE OF ROVZHI VILLAGE, KYIV REGION)

Martha Mykhidenko

***Abstract.** Currently, rural areas of Ukraine are experiencing difficulties in economic and social growth, infrastructure development, expansion of local production, nature protection, development of local culture and preservation of cultural heritage. The purpose of this study is to analyze the problems with Rovzhi, and a description of specific proposals for the transformation of the architectural environment with Rovzhi and adjacent areas, aimed at improving energy efficiency and quality of life in general. The research methodology includes an analysis of current problems and unrealized opportunities in the village of Rovzhi; spatial modeling of complex development of the territory; formation of project proposals for improving the architectural environment of the settlement. The development plan of the territory developed during the research allows to consider alternative proposals for the use of the potential of the territory, ways to modernize the service system and achieve ecological balance. In the alternative master plan of the village of Rovzhi, attention is paid to making changes to the functional use of the territory, improving the infrastructure of the center and improving the energy efficiency of buildings. Project three-dimensional proposals of the village center, demonstrates possible approaches to the use of renewable sources, provides for the use of recyclable materials. As a result of the study, new ways of solving the problems of a particular area were proposed, which can be useful for achieving energy efficiency goals during the transformation of the world order.*

***Keywords:** energy efficiency; Rural areas; comfort; security; Spatial planning decisions.*

СЕКЦІЯ 3 «МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ, МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ»

УДК 69.002.5 + УДК 539.3

Динамічний моніторинг технічних об'єктів

Олег Дєдов

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** Наведені результати досліджень динамічних характеристик технічних об'єктів під впливом навантаження природнього та техногенного походження. Об'єктом досліджень є процес розповсюдження коливань в несучих конструкціях будівельних споруд. Однією з проблем при обстеженні і моніторингу будівельних об'єктів є оцінка динамічної дії на несучі елементи споруди. Існуючі нормативні документи і методики врахування динамічного впливу неповною мірою охоплюють дану проблему, про що свідчить наявність випадків аварійного стану експлуатованих споруд, які піддані динамічним навантаженням. Запропонований підхід в основу якого покладена гіпотеза про розгляд споруди і технологічного обладнання, що має динамічний вплив, як єдиної системи із відповідними їй динамічними характеристиками. Виявлені явища передачі коливань загальної системи споруди дозволили сформулювати причини появи дефектів. Отримані результати досліджень можуть бути використані при розробці методик і технологій діагностування та встановлення причин надмірних коливань несучих і огорожувальних конструкцій споруд при дії динамічного навантаження техногенного походження.*

***Ключові слова:** обстеження споруди, вібраційна діагностика, власні частоти коливань, форма коливань, динамічне навантаження, акселерометр, віброприскорення, скінченно-елементна модель*

В сучасних умовах розвитку виробництва з метою забезпечення вимог енергоефективності з впровадженням новітніх технологій виникає проблема реструктуризації виробництва. Як правило, при створенні нових виробництв, або модернізації існуючих, використовують будівлі різного призначення з переобладнанням їх під виробничі приміщення із застосуванням новітнього обладнання. Така технологія цілком виправдана з точки зору заощадження коштів на спорудження нових конструкцій. Однак, у більшості випадків, така модернізація виконується без належних розрахунків та аналізу причинно-наслідкових зв'язків. Особливо це стає актуальним для складних об'єктів, коли питання безпеки і надійності будівельних конструкцій є особливо відповідальним. Як правило, такі будівлі і споруди відрізняються різноманітністю форм і об'ємів, великими прольотами і висотою, соціальним і культурним значеннями, історичною цінністю і т.д. [1].

Загальна методика виконання робіт з моніторингу технічних об'єктів передбачає розробку та створення комплексу заходів спрямованих на зниження ризику втрати несучою конструкцією властивостей, які визначають її надійність за рахунок своєчасного виявлення на початковій стадії негативної зміни напружено-деформованого стану несучих конструкцій.

Динамічний моніторинг технічного стану об'єкта виконується для отримання інформаційних даних з подальшою їх обробкою та визначення інтегральних характеристик об'єкту моніторингу (споруди, конструкції тощо), своєчасне виявлення на ранній стадії негативної зміни напружено-деформованого стану конструкцій і основ фундаментів, яка може спричинити перехід об'єкта в обмежено працездатний стан або аварійний стан.

У випадку модернізації існуючої моделі машини технологічного призначення, розрахункова модель в такому комплексі, дозволить проаналізувати технічний рівень конструкції та виконати прогнозування її надійності, а в комплексі з виконаними експериментальними дослідженнями оцінити поточний технічний стан, появу можливих відмов, тощо.

Особливої уваги заслуговують технічні об'єкти, які відносяться до архітектурних пам'яток і потребують постійного контролю за їх станом в умовах щільної забудови та розвитку інфраструктури територій їхнього розміщення.

Таким чином визначення адекватної моделі та реального технічного стану будівельної системи методом обстежень і постійного контролю в процесі експлуатації є окремим

високотехнологічним напрямком в будівництві, який надає можливість розв'язання складних інженерних задач, направлених на забезпечення безвідмовної роботи будівель і споруд для своєчасного реагування на можливі в майбутньому проблеми.

На сучасному рівні розвитку будівельної галузі створення таких моделей стає необхідною умовою при створенні нових конструкцій (застосування BIM технологій). Тому застосування загальноприйнятої методики діагностування і моніторингу систем складної структури є питанням, яке потребує подальшого розвитку і вдосконалень. Задача створення і застосування таких систем моніторингу залежить від конкретного об'єкта дослідження, для якого мають бути враховані конкретні особливості.

Для використання вібраційної діагностики застосовується системний підхід, який включає: проведення первинного візуально-інструментального обстеження об'єкта і визначення відповідності прийнятих конструктивних рішень – проектним; побудову за отриманими результатами математичної моделі та параметричну перевірку її адекватності на основі тестових розрахунків, проведення натурних вимірювань параметрів стану існуючого об'єкту; уточнення математичної моделі; встановлення критеріїв оцінки параметрів, що підлягають контролю; виконання експериментальних досліджень та їх аналіз.

Визначені, на основі такого підходу, інтегральні характеристики об'єкта моніторингу (частота власних коливань, амплітуда коливань, форма коливань) підлягають аналізу з подальшим порівнянням цих характеристик з характеристиками, що отримані шляхом математичного моделювання даної системи складної структури [2]. Очевидно, що математична модель досліджуваного об'єкта має бути створена так, щоб адекватно описувати реальну конструкцію та її поведінку при різних навантаженнях, а також була здатна відобразити моделювання різного роду недосконалостей пов'язаних з виготовленням та безпосередньою експлуатацією за призначенням. На основі проведення таких досліджень можна оцінити характер і величину зміни напружено-деформованого стану елементів та конструкцій в цілому, що дасть можливість визначити якість виготовлення конструкції і відповідність її проектним даним (виконання зварних швів, болтових з'єднань, цілісності конструкції).

Динамічний моніторинг може здійснюватися за різних умов: при експлуатації технологічного обладнання, або при мінімальних впливах техногенного походження; з відомими характеристиками динамічного впливу, або ж коли такі дані відсутні, тобто фактори впливу невідомі.

При наявності відомостей про параметри технологічного призначення, завдання динамічного моніторингу полягає у визначенні дійсних значень власних частот споруди та аналізування загальної моделі з метою запобігання можливих резонансних явищ у системі [3]. У такому випадку задача зводиться до побудови математичної моделі, перевірка її адекватності на основі отриманих експериментальних досліджень динамічних характеристик та моделювання з новим набором даних у разі модернізації виробництв, встановленні нового обладнання тощо.

У випадках, коли фактори (причини) динамічного впливу невідомі, завдання дещо ускладнюється. Насамперед необхідно визначити джерела такого впливу, особливо це стосується складних систем де потенційних джерел декілька, і вирішальним може виявитись не одиничне вібраційне джерело, а сукупність декількох. Здебільшого це притаманно виробництвам з встановленим рядом однотипних машин технологічного призначення [4].

Особливим випадком є об'єкти культурної спадщини, які перебувають в аварійному або близькому до аварійного стану [5]. Софійський Собор Національного заповідника «Софія Київська» теж відноситься до таких об'єктів. При попередніх обстеженнях будівлі виявлена велика кількість деформацій у внутрішніх і зовнішніх стінах в наслідок минулих подій. В зв'язку з комплексом існуючих і нових вібраційних навантажень, запропоноване гіпотетичне припущення про можливий вплив динамічних явищ на споруду Собору. З метою оцінювання таких динамічних впливів на Собор, був проведений ряд заходів, щодо визначення стану несучих конструкцій та прогнозування їх надійності.

Виконання досліджень полягало у експериментальному вимірюванні параметрів руху елементів несучих конструкцій в реальному часі з подальшою їх обробкою та визначенням динамічних характеристик таких елементів та споруди в цілому.

Реалізація досліджень була здійснена шляхом визначення інтегральних динамічних параметрів з подальшим аналізом і встановленням причинно-наслідкових зв'язків.

Для визначення мікросейсмічного фону довкілля, вимірювання виконувались на кількох рівнях по висоті, а також поблизу споруди на поверхні.

Влаштування основної опорної точки для базової станції на несучій стіні другого поверху і визначенням рівня мікросейсмічного фону в опорній точці.

На наступному етапі були здійснені записи динамічних процесів на інших конструктивних елементах синхронно з записами базової опорної точки вимірювань (рис. 1).

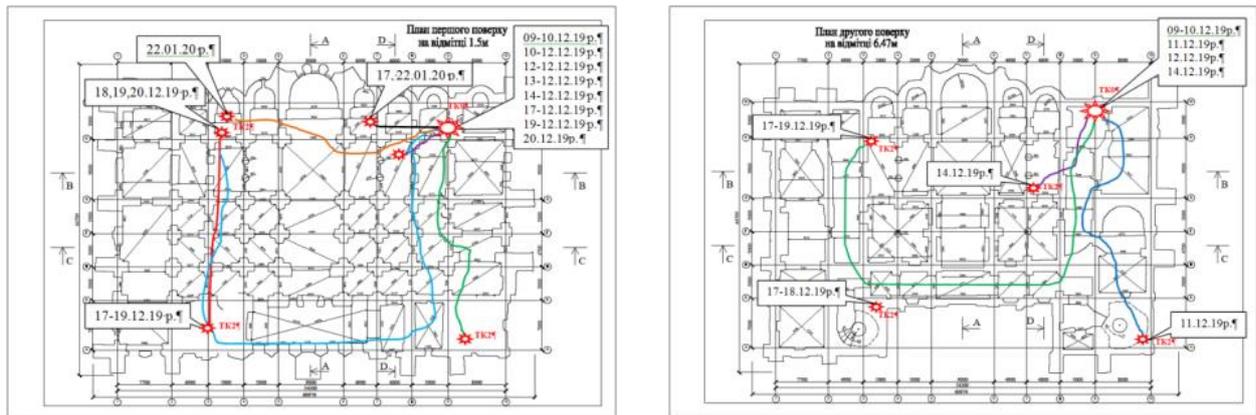


Рис. 1. Схема розміщення вимірювальних станцій.

Заключний етап вимірювань передбачав фіксування динамічного впливу від техногенних факторів впливу: під час проведення служіння, громадських святкових заходів і дорожнього руху.

Отримані результати безперервних записів були проаналізовані та проведена їх оцінка. Порівняльний аналіз спектральних характеристик при дії різного динамічного навантаження наведений на рис. 2

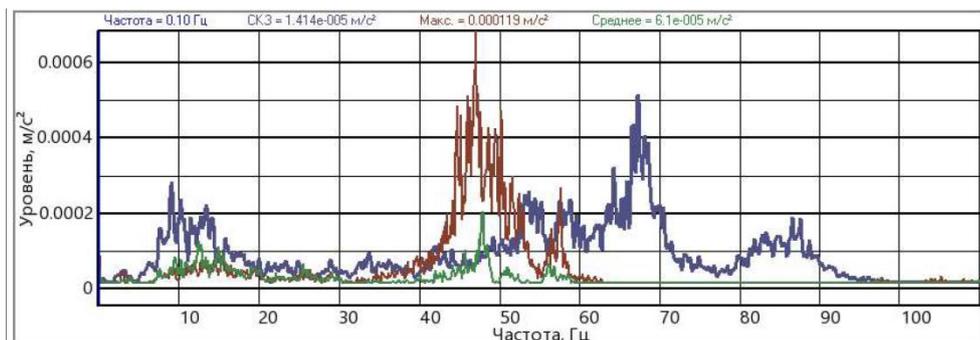


Рис. 2. Порівняльні спектри визначених вібраційних джерел, які діють на Собор, — при мінімальному впливі динамічних явищ; — при техногенному впливі; — при масових заходах на майдані біля собору.

Таким чином за отриманими результатами, вібраційні реакції основних елементів будівлі мають менший рівень, ніж очікувалось, з огляду на наявні деформації основних конструкцій споруди, які виявлені при інструментальних обстеженнях. Зовнішній стан основних конструкцій стабільний, динаміки подальшого розвитку деформацій не вбачається, про що свідчать спостереження і статичного моніторингу. На цій підставі, зроблений висновок: несучі конструкції знаходяться в нормальному стані, існуючі пошкодження в Соборі не впливають на безпеку і надійність історичної будівлі, за рахунок маси споруди, її геометричних розмірів в плані, розвинутих перерізах рядових елементів, вібраційна ситуація обмежено впливає на міцність і стійкість основних елементів об'єкта.

Виконані роботи з візуального обстеження на внутрішніх і зовнішніх стінах, виявили дефекти у вигляді тріщин в фресковому живописі, який відноситься до початку експлуатації будівлі і є безцінною тисячорічною художньою пам'яткою. При вибірковому огляді фресок основні дефекти пов'язані з відшаруванням від склепінчастої основи цем'яноквого шару. Процес відбувається переважно у верхній частині Собору. В цих місцях більш інтенсивно розвиваються деструктивні процеси, які прискорюють руйнування живопису і його основи. Одною з причин появи таких дефектів можливі динамічні процеси, при дії яких в окремих елементах оздоблення виникають явища близькі до резонансних і в сукупності з іншими чинниками впливають на розвиток дефектів.

Список літератури

1. Кендзера О.В., Белов І.Д., Щербіна С.В.... Експериментальна перевірка розрахункової вібраційної моделі Великої Лаврської Дзвіниці Києво-Печерського заповідника. Стаття. Геоінформатика №2 (58) 2016. 68-77 с.
2. I Nazarenko, O Dedov Investigation of complex structure systems based on spectral analysis / Technology audit and production reserves 6 (1 (50)). 2019, Vol 6/1 (50). P. 11-13
3. M.Vabischevich, O. Dedov, O. Glitin Numerical-experimental research of technological equipment foundations in dynamic impact conditions / Technology audit and production reserves. 2019, Vol 5/1 (49). P.
4. M.Vabischevich, O. Dedov, O. Glitin Experimental determination of the spectrum of structure vibrations under the influence of technological load / Technology audit and production reserves. 2019, Vol 4/1 (48). P. 39-42
5. I.Belov, M.Vabischevich, O.Dedov Numerical and experimental investigation of the cave passage model / Technology audit and production reserves. 2019, Vol 5/2 (49). P. 31-33

DYNAMIC MONITORING OF TECHNICAL OBJECTS

Oleg Dedov

Abstract. The results of researches of dynamic characteristics of technical objects under the influence of loading of natural and technogenic origin are resulted. The object of research is the process of propagation of oscillations in the load-bearing structures of buildings. One of the problems in the inspection and monitoring of construction sites is the assessment of the dynamic effect on the load-bearing elements of the structure. Existing normative documents and methods of taking into account the dynamic impact do not fully cover this problem, the presence of emergency situations of existing facilities that are subjected to dynamic loads. The proposed approach is based on the hypothesis of the considered structures and technological equipment that has a dynamic impact, as a single system with its corresponding dynamic characteristics. The identified phenomena of transmission of oscillations of the general system of the structure allowed to formulate the causes of defects. Methods of diagnostics and establishment of results of researches of developments and researches of quantity of incompatible enclosing designs at action of dynamic influence of a technogenic origin can be received.

Keywords. structural survey, vibration diagnostics, natural oscillation frequencies, oscillation form, dynamic loading, accelerometer, vibration acceleration, finite element model

УДК 693.1

Дослідження та розробка системних моделей із застосуванням параметричної оптимізації

Валерій Яковенко, Іван Назаренко, Євген Міщук

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. В роботі розглянута динаміка одновимірного середовища при взаємодії з робочими органами машин. Проаналізовано рівняння механіки суцільного середовища при описі систем із урахуванням зовнішнього і внутрішнього тертя, а також стан системи коли тертя відсутнє. Для систем в яких здійснюється руйнування матеріалів проаналізовано одновимірне рівняння теорії пружності та пластичності. Розглянута та проаналізована взаємодія машини та середовища при описі рівняннями Кірхгофа. Наведено розрахунки швидкості машини без врахування впливу середовища та з врахуванням. Процеси, завдяки яким здійснюється подрібнення, сортування, змішування і ущільнення в цілому можна охарактеризувати множиною безрозмірних критеріїв, які утворюються з параметрів руху машини і середовища завдяки основним законам механіки. Встановлено, що для розглянутих математичних моделей,

можливо використовувати методи системного аналізу, які дозволяють з однакових позицій розглядати різні явища.

Ключові слова: машина; середовище; системні моделі; параметрична оптимізація.

Вступ. На даний час розроблено та існує багато різних моделей та методів розрахунку основних параметрів машин для виробництва будівельних матеріалів. Множина цих методів складає базу знань про сучасний стан розвитку проектування в цій галузі. За існуючою формою подання ці методики мають різну структуру і тому практично мало пристосовані до застосування сучасних інформаційних технологій проектування. Тому виникає потреба системної організації цих методів, що адаптує їх для подальшого розвитку завдяки інформаційній підтримці.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. Дослідження динаміки основних типів машин для виробництва будівельних матеріалів базується на різних концепціях. Базова концепція розглядає систему, що складається з двох частин: машини і середовища (рис. 1), які зв'язані рівновагою сил дії та протидії.

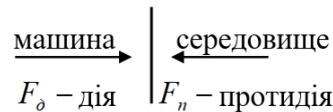


Рис. 1. Система «машин-середовище»

Динаміка машини описується диференціальними рівняннями другого порядку із залежними від часу t і координати x компонентами m, b, c, F :

$$m(x,t)\ddot{x}+b(x,t)\dot{x}+c(x,t)x=F(t) \quad (1)$$

В спрощеному випадку постійними:

$$m\ddot{x}+b\dot{x}+cx=F(t) \quad (2)$$

Ці рівняння притаманні грохоту, віброплощадці, а в спрощеному випадку коли маса m суттєво не впливає, для дробарки:

$$m\ddot{x}+b\dot{x}+cx=F(t) \quad (3)$$

Коли не суттєвий вплив пружності c , в глибинному вібраторі:

$$m\ddot{x}+b\dot{x}=F(t) \quad (4)$$

Мета і задачі дослідження. Огляд та оцінка математичних моделей взаємодії машини і робочого середовища для подальшого їх використання в системних моделях з параметричною оптимізацією.

Виклад основного матеріалу дослідження. Динаміка середовища в загальному одновимірному вигляді описується рівняннями механіки суцільного середовища, які мають вигляд:

$\sigma=\rho c^2$ рівняння стану;

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial x} \quad \text{рівняння руху;} \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad \text{рівняння нерозривності;}$$

де $\rho=\rho(x,t)$ – щільність середовища; $\sigma=\sigma(x,t)$ – тиск в середовищі, $v=v(x,t)$ – швидкість в середовищі.

З урахуванням зовнішнього r і внутрішнього q тертя, ці рівняння згортаються і мають вигляд:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial v}{\partial x \partial t} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{r}{ES} \frac{\partial v}{\partial t}; \quad (6)$$

тут $F=\sigma S=rv$ – відповідає абсолютній швидкості частин середовища і визначає зовнішній опір. Внутрішнє тертя пропорційно відносній швидкості руху частин середовища або швидкості деформації:

$$v = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad F = \frac{1}{q} \frac{\partial u}{\partial x \partial t} = \frac{\partial v}{\partial x}; \quad (7)$$

тут $\frac{\partial v}{\partial x}$ – градієнт швидкості.

У випадку коли тертя відсутнє $q=0, r=0$. Рівняння (6) перетворюється на хвильове рівняння:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2 (1+i\gamma)} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad (8)$$

де $\gamma = \frac{ESq}{\omega}$ – дисипативні витрати; $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – швидкість хвиль.

Такі рівняння використовуються при взаємодії з середовищем у випадку віброплощадок і глибинних вібраторів.

Для врахування динаміки середовища у випадку дробарок використовуються одновимірні рівняння теорії пружності і пластичності:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad \sigma = f(E, \eta, t). \quad (9)$$

Такі рівняння описують нелінійну деформацію середовища у камері подрібнення. Для змішувачів розглядається наближення руху в'язкої рідини. В одновимірному варіанті це рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \Delta v; \quad \text{div} v = 0; \quad (10)$$

де $v=v(x)$ – швидкість; ρ – щільність, p – тиск, ν – кінематична в'язкість середовища.

При розгляді руху суміші у змішувачах рівняння Нав'є-Стокса перетворюється у формулу обертального руху:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right); \quad (11)$$

тут $\omega = k \times \omega(x, y, t)$ – компоненти вектора швидкості.

Це рівняння Гельмгольца для в'язкої рідини, яке враховує наявність вихрових рухів у середовищі.

В окремих випадках урахування динаміки середовища враховується виходячи із рівняння Ньютона:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}; \quad (12)$$

де $m=m(t)$ характеристика інерції, може бути функцією часу, в спрощеному випадку $m=\alpha t$, де α – коефіцієнт приєднаної маси.

У випадку гравітаційного і роторного змішувачів розглядається не поступальний а обертальний рух машини, тоді рівняння руху машини мають вигляд:

$$I\ddot{\phi} + R\dot{\phi} = M(t); \quad (13)$$

де I – момент енергії середовища; R – коефіцієнт опору середовища.

При технологічній взаємодії машина і середовище зв'язані різним чином, послідовно і паралельно.

Взаємодія в системі машина-середовище визначаються законами Кірхгофа: для спільної сили F_i і спільної швидкості v_i складових елементів. Ці закони є слідством збереження, і вільного руху енергії (рис. 2).

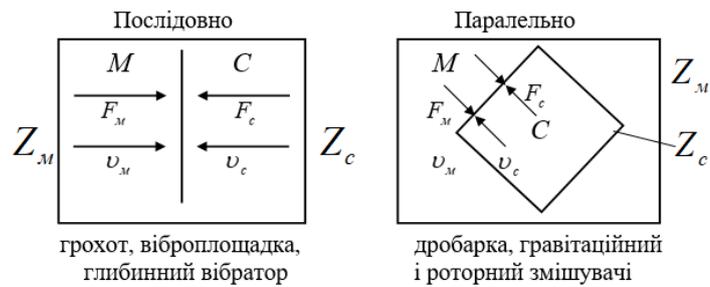


Рис. 2. Технологічна взаємодія машини і середовища

Швидкість машини без врахування впливу середовища розраховується таким чином:

$$v = \frac{F}{Z_M}; \quad (14)$$

де $Z_M = \sqrt{b^2 + \left(\omega m - \frac{c}{\omega}\right)^2}$ модуль комплексного імпедансу машини, що складається з активної складової b , яка враховує опір і дисипативне розсіяння енергії, і реактивної складової $(\omega m - c/\omega)$, яка враховує внутрішній обмін енергії між інерцією і пружністю.

З врахуванням впливу зовнішнього середовища швидкість машини розраховується таким чином:

$$v = \frac{F}{Z_M + Z_C}, \quad (15)$$

де Z_C – імпеданс середовища, який в загальному випадку є комплексною величиною і розраховується окремо для кожного випадку із врахуванням специфіки динаміки середовища.

Висновок. Розглянуті математичні моделі за допомогою різних експериментальних коефіцієнтів враховують вплив оброблюваного середовища. У дробарок відсутня інерційна складова, а у змішувачів і глибинних вібраторів відсутня пружна складова. В цілому диференціальні рівняння подібні за своєю формою і тому для їх аналізу можливо використовувати методи системного аналізу, які дозволяють з однакових позицій розглядати різні явища.

Процеси, завдяки яким здійснюється подрібнення, сортування, змішування і ущільнення в цілому можна характеризувати множиною безрозмірних критеріїв, які утворюються з параметрів руху машини і середовища завдяки основним законам механіки: рівнянням Ньютона для руху, рівнянням Гука для деформації, рівнянням Стокса для в'язкого опору.

Список літератури

1. Hmara L.A. (2008). *Crushing and screening plants and equipment. Methodical manual.* - Dnepropetrovsk-Poltava: PoltNTU Publishing House, p.209.
2. Chubuk Ju.F., Nazarenko I.I., Garnec V.N. (1985). *Vibratory machines for compacting concrete mixes.*- K.: Vishcha school.. Leading publishing house, p. 168
3. Yakovenko V.B. (1988). *Modeling and calculation of vibration systems. Textbook.* -K.: UMK VO. p.232
4. Vasiliev V.V. (2008). *Mathematical and computer modeling of processes and systems in the MATLAB/SIMULINK environment. Textbook for students and graduate students.*– K.: NAS of Ukraine,– p. 91.
5. Nazarenko I.I. (2009). *System analysis of technical objects: Textbook.* – K.: KNUBA, p. 164.
6. Zabrodsky M.M. (2011). *System modeling of design calculation of gravitational concrete mixers of cyclic action // Mining, building, dor. and reclamation. Machines: All-Ukrainian. interdepartmental. coll. Science. work.* - K.: KNUBA. - Vol. 77. - P. 11-18.
7. R.C. Rosenbety, D.C. Karnopp (1983). *Introduction to Physical System Dynemlcs Me Graw - Hill, Now - York.*
8. D.C. Karnopp, D.L. Margoila and R.C. Rosenberg (1990). *System Dynamics: A Unified Approach. John Wily, New - York.*
9. J. U. Thoma (1989). *Simulation by Bondgraphs. Introduction to a Graphical Method Springer. New – York.*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SYSTEM MODELS WITH THE APPLICATION OF PARAMETRIC OPTIMIZATION

Valery Yakovenko, Ivan Nazarenko, Yevhen Mishchuk

Abstract. *The dynamics of one-dimensional environment at interaction with working bodies of machines is considered in the work. The equations of solid medium mechanics in the description of systems taking into account external and internal friction, as well as the state of the system when there is no friction are analyzed. For systems in which the destruction of materials is carried out, the one-dimensional equation of the theory of elasticity and plasticity is analyzed. The interaction of machine and medium in the description of Kirchhoff's equations is considered and analyzed. Calculations of the speed of the machine without taking into account the influence of the environment and taking into account. The processes by which grinding, sorting, mixing and compaction in general can be characterized by a set of dimensionless criteria, which are formed from the parameters of the machine and the environment due to the basic laws of mechanics. It is established that for the considered mathematical models, it is possible to use methods of the system analysis which allow to consider different phenomena from the same positions.*

Keywords: *machine; environment; system models; parametric optimization.*

UDC 69.059; 72.025; 721

Intelligent information technology for testing neural network during diagnostics of technical condition of industrial buildings

Oleksandr Terentyev, Ievgenii Gorbatyuk, Anatoliy Sviderskyi

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

Abstract. *The article proposes methodological bases of construction of information system of diagnostics of technical state of constructions of industrial buildings and structures and justification of efficiency of technologies of instrumental determination of parameters of buildings, structures at all stages of their life cycle, which are considered from the position of strategic information management. The statistic has analyzed the results of the experiment with the model of the automated system and the diagnostics of the technical staff in the future and rejected the results, which give the possibility of preventing the effective implementation of the neural measure, just like a laborious tool for the future. The causes of destruction of building structures in the process of technical diagnostics of construction facilities using neural networks of the information system were identified and analyzed. The reasons for the destruction of building structures have also been identified and analyzed. The processing of collected data and methods of their search and evaluation, which are carried out in the process of technical diagnostics of construction objects. To automate the processes of evaluation activity from information collection to decision-making, a system for storing, preparing and processing data on the basis of a neural network is proposed.*

Keywords: *building; neural network; damage; examination; destruction of the building; technical condition.*

To automate the processes of evaluation activities from information collection to decision-making requires a complex system of storage, preparation, data processing. The architecture of the neural network testing information system is presented in Figure 1 [1].

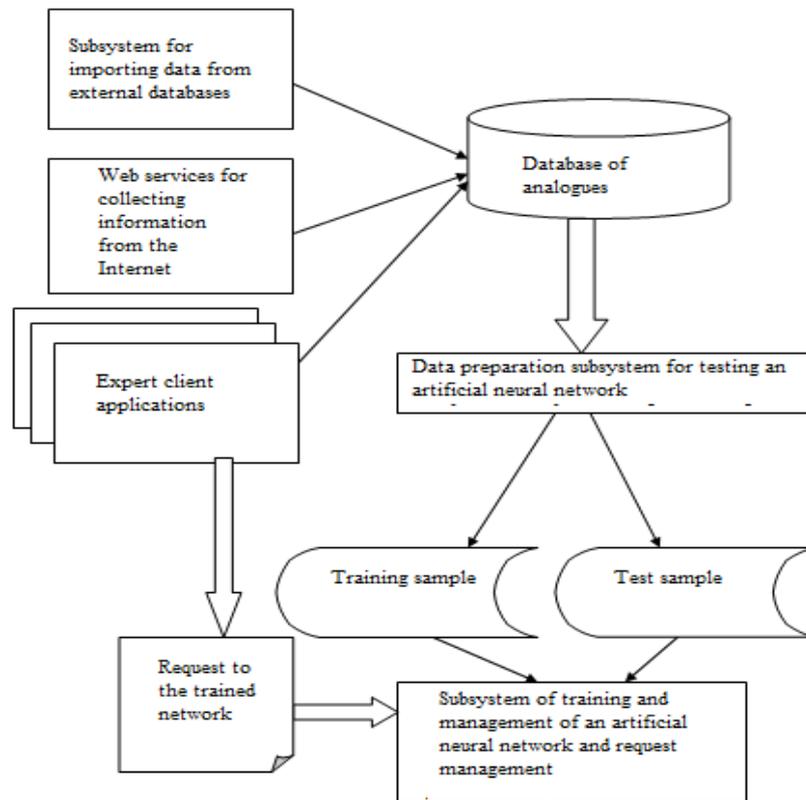


Fig. 1. The architecture of the neural network testing information

The system provides a subsystem for collecting statistical information, processing and distributing data for an artificial neural network, the core of the neural network approximator, and the application of expert evaluators for management. The information system database has a client-server architecture to ensure the work of several experts simultaneously, shown in Figure 2.

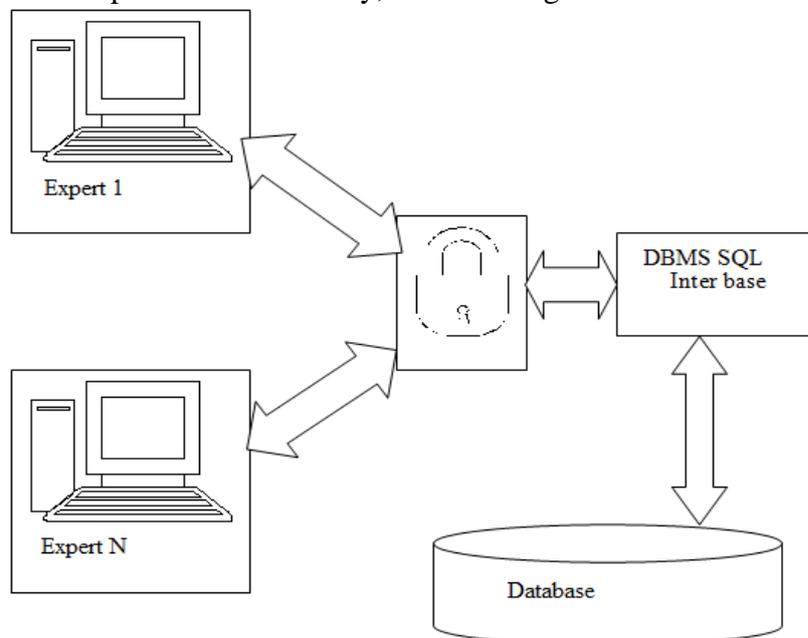


Fig. 2. Client-server architecture of the information collection subsystem

The test preparation subsystem has its own configurator, where the user can determine the amount of data that needs to be allocated for neural network testing and for training. The operation of the subsystem begins with the selection of data from the database using a configurable query.

The whole scheme of operation of the subsystem for the preparation of information on neural network testing is shown in Figure 3 [2].

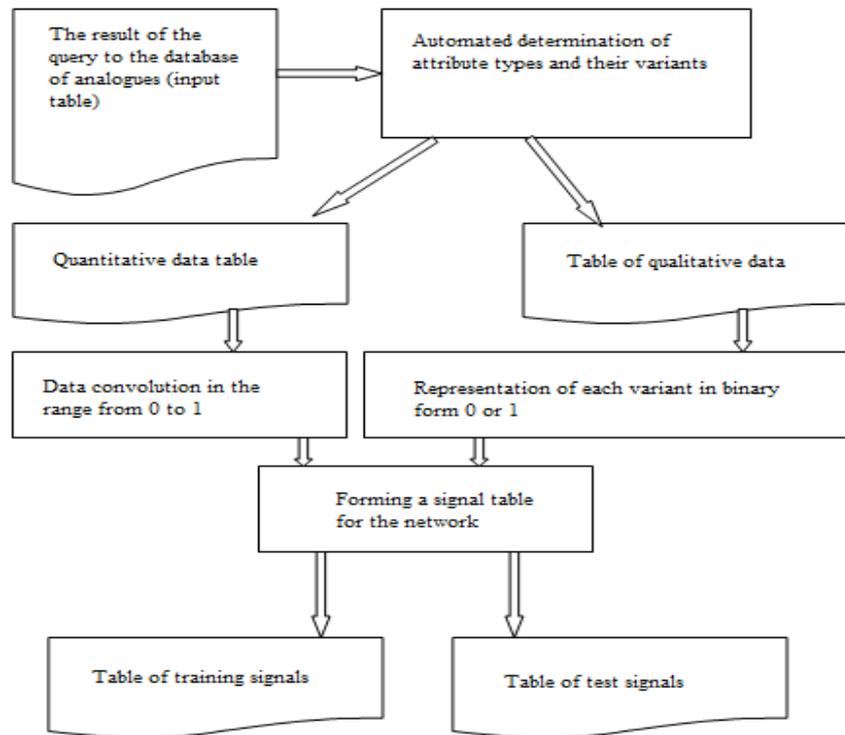


Fig. 3. Subsystem for the preparation of information on neural network testing

Identification and analysis of the causes of destruction of building structures, development of methods for their search, and evaluation are carried out in the process of technical diagnostics of construction objects.

For technical diagnostics of buildings, it is necessary to structurally formalize the description and means of control of actual values of parameters of constructions of building constructions and their operational qualities. From them it is possible to allocate some most general, which essentially influence serviceability: durability and stability of building designs; heat-protective properties; tightness, especially building structures; sound insulation; light; humidity of building construction materials [3].

The list of such parameters and their normative or calculated values for each type of building structure is established by the project. Comparing the actual value of the parameter, established by expert assessment, with the normative, make a conclusion about the serviceability of the structure as a whole. Then a decision is made on measures to maintain this parameter at a given norm or calculation level. In the course of technical diagnostics, the following inspection methods are used: visual, visual-instrumental, non-destructive [4, 5].

Intelligent information technology for testing neural network during diagnostics of technical condition of buildings

After receiving the results of the query, the data goes to the module, which determines the types of attributes and their data variants. The data has a numeric type is then separated from the data having a text type. Since the network cannot accept data as a text type, it is proposed to detail the table of non-numeric data, is to present each variant as an attribute that has a value of only “0” or “1” [6].

Data that are numerical also need to be processed. Since the input of the sigmoid neuron signals are given only in the range from 0 to 1, the values of parameters such as area, the price must be scaled.

The problem of approximating the functions of an artificial neural network, the complexity of which is unknown, requires application software with a wide range of configuration options. To do this, an object-oriented model of the network was developed, which allows you to easily manage its parameters (the number of layers, neurons in the layers). The model allows you to monitor each neuron separately and, if necessary, change its configuration (the type of activation function, learning speed, input signals, and connections with other neurons). The network model is shown in Figure 4 [7].

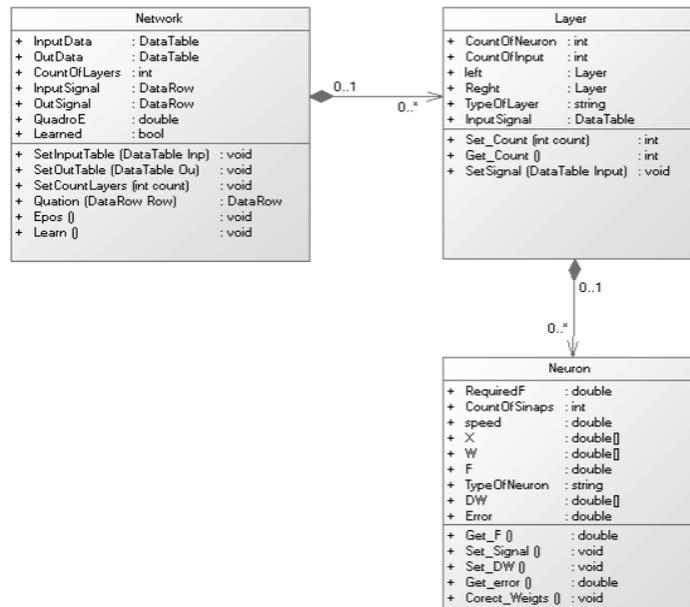


Fig. 4. Diagram of neural network implementation classes

Figure 5 shows the main window for monitoring and managing the network.

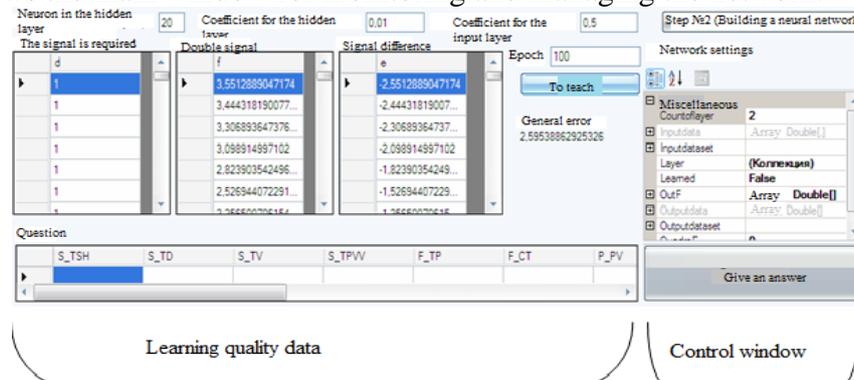


Fig. 5. Interface control and monitoring of the artificial neural network

Network management and configuration tools are dialog boxes for controlling layers over neurons in layers, as well as properties that are open for editing.

The software provides a modular structure to support the ability to integrate individual parts with other applications. In addition, the modular structure facilitates the further improvement of individual parts without dependencies on others. The scheme of software modules is shown in Figure 6 [8].

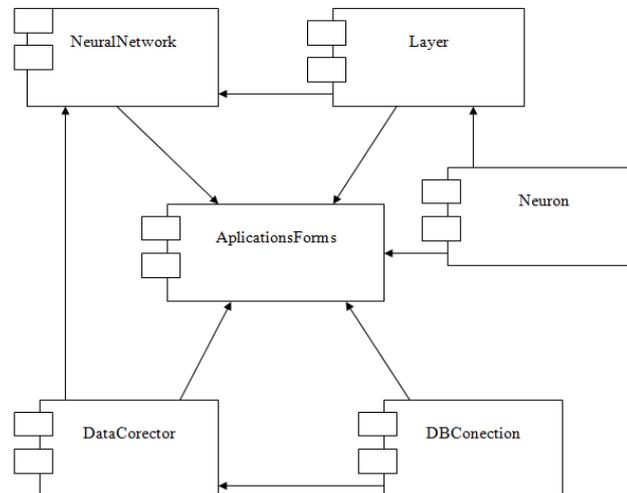


Fig. 6. Neural network software modules

NeuralNetwork – the artificial network implementation module. Contains a description of the Network class metadata.

Layer – a module for implementing a collection of layers of neurons. Contains a description of the Layer class metadata.

Neuron – is a module for implementing a collection of artificial neurons. Contains a description of the Neuron class metadata. ApplicationsForms – is a module of the software interface.

DataCorector – is a module for implementing a data preparation subsystem for network training and testing.

DBConection – a training set selection module connected by a database. Has support for querying the database.

The data model of the information system database is presented in Figure 7.

Figure 8 shows a plan for conducting an experimental study of neural network testing.

The latest statistics collected from available Internet resources were used to test the network. To train an artificial neural network, the sample was 220 examples, of which 20 were used for network testing and 200 for training. The sample for network testing was not included in the data set correcting for synaptic coefficients. That is why it was the main indicator of efficiency [9, 10].

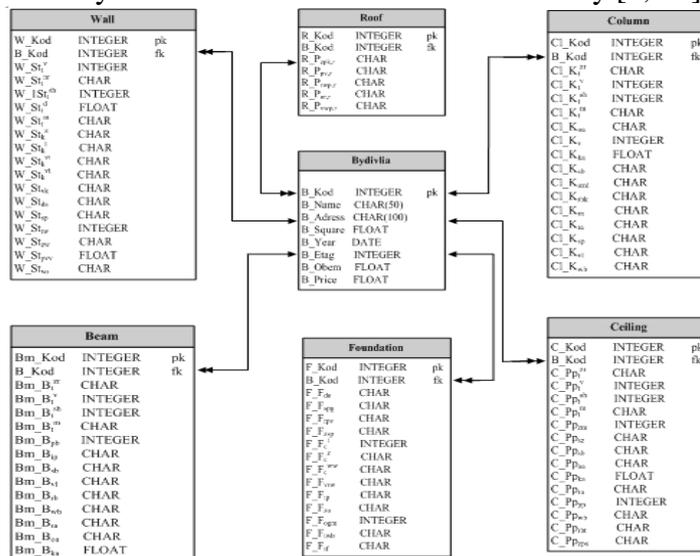


Fig. 7. Datological model of the information system database

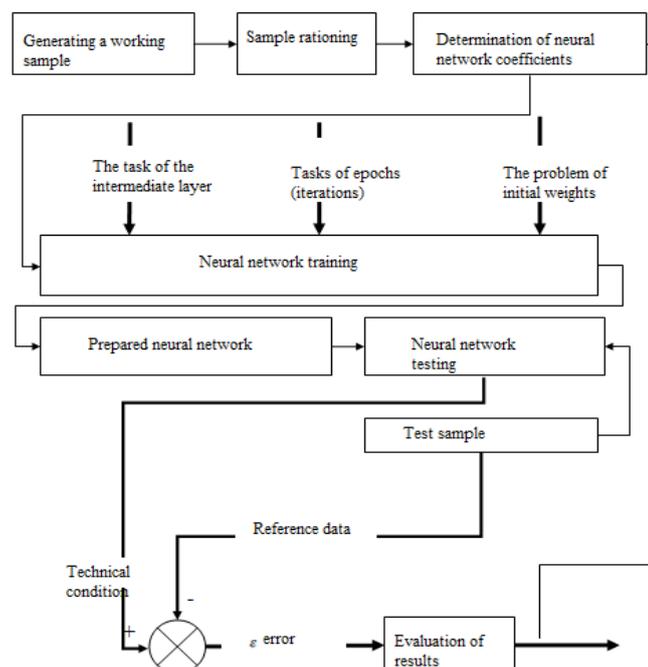


Fig. 8. Plan of experimental research of neural network testing

Since the input of the sigmoid neuron signals are given only in the range from 0 to 1, the system converts the entered data.

After normalization of the data, the neural network is adjusted, namely, the number of neurons in the hidden layer is selected 20. Next, the weight coefficients for the inner-0.1 and 0.5-outer layers of the neural network, as well as the number of epochs (iterations) 100 are presented in Figure 9.



Fig. 9. Introduction of coefficients

After entering the coefficients, the training of the neural network begins. And the more quantities the longer the system learns. After training, the total identification error is determined. The neuron network is checked by a control sample and the result is obtained. Figure 10 shows the test result of the neural network.

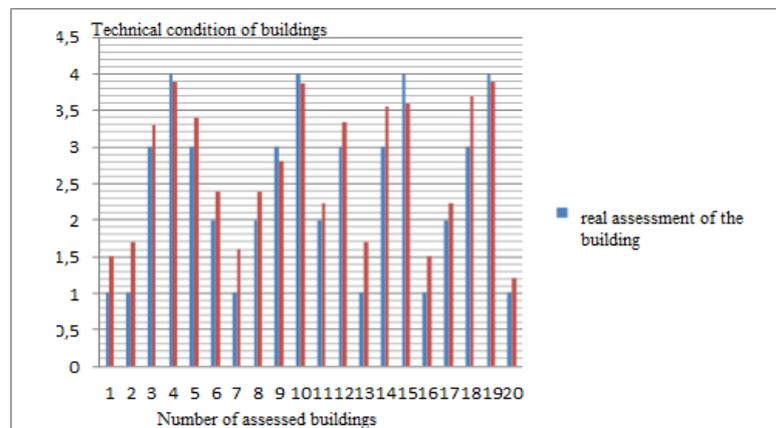


Fig. 10. Histogram of the test on real data

Learning an artificial neural network took 10 minutes 68,000 epochs. The graph of the dependence of the total root means square error on the number of the epoch of study is shown in Figure 11.

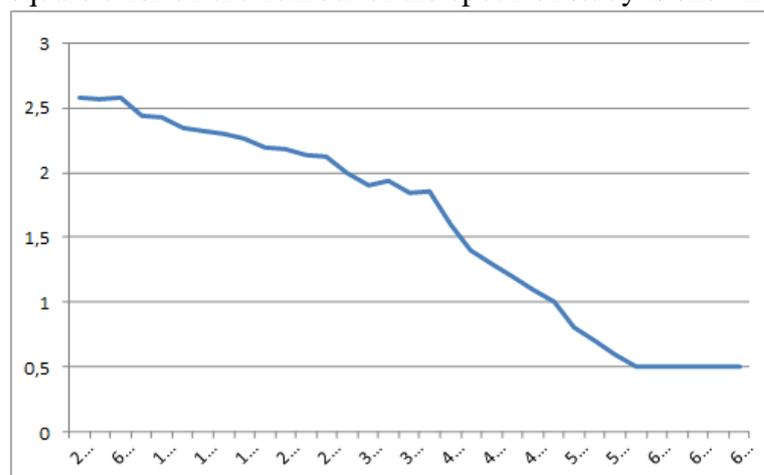


Fig. 11. Reducing the value of error in learning

A further increase in network learning examples and the number of criteria will reduce the overall network error.

First, a neural network is built and learned, which is shown in Figures 12.

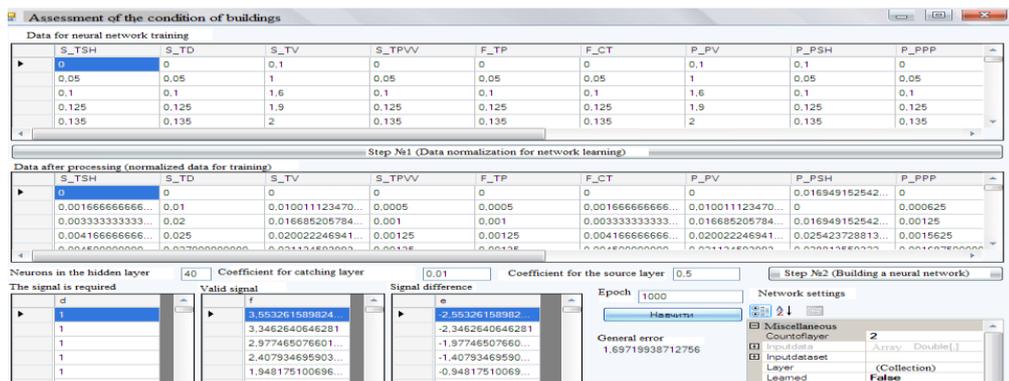


Fig. 12. Neural network training

After training the neural network, data about the buildings is entered, the “Give an answer” button is pressed, and the system produces the result shown in Figure 13.

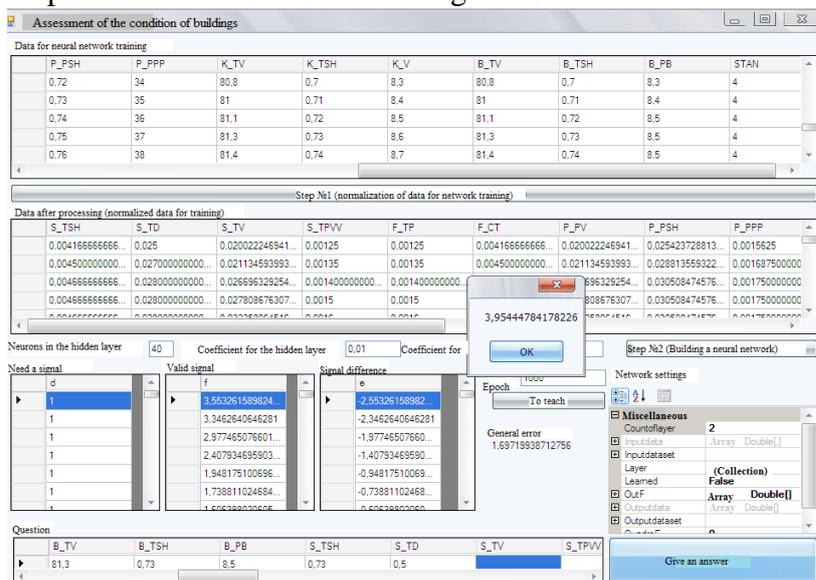


Fig. 13. The result of the neural network

For technical diagnostics of industrial buildings, parameters of constructions of building structures are determined, which significantly affect the operational suitability: strength and stability of building structures; thermal protection properties; tightness, especially building structures; sound insulation; illumination; humidity of materials of building structures.

The study proves the potential effectiveness of the use of neural networks for the analysis of the real estate market during the evaluation activity.

The study proves the potential effectiveness of using neural networks for an information system for diagnosing the technical condition of buildings. The results make it possible to provide effective neural network training with a given accuracy and reliability to ensure diagnostics of certain stages of operation of buildings within their lifecycle.

References

1. A. H. Alavi, and A. H. Gandomi, “Big data in civil engineering. Automation in Construction”, vol. 79, pp. 1-2, 2017.
2. M. Bilal, et al., “Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends”, *Advanced engineering informatics*, vol. 30(3), pp. 500-521, 2016.
3. T. Honcharenko, K. Kyivska, O. Serpinska, V. Savenko, D. Kysliuk and Y. Orlyk, “Digital transformation of the construction design based on the building information modeling and internet of things,” *CEUR Workshop Proceedings* this link is disabled, 2021, vol. 3039, pp. 267–279.
4. Koo Bonsang, La Sunmin, Cho Nam-Wook, Yu Youngsu, “Using support vector machines to classify building elements for checking the semantic integrity of building information models”, *Automation in Construction*, 2019, vol. 98, pp. 183–194. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.11.015.

5. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning / T. Honcharenko, O. Terentyev, O. Malykhina, I. Druzhynina, I. Gorbatyuk. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. Vol. 11 (2021) No. 5, 2021. P. 1728-1735.
6. K. Gopalakrishnan, A. Agrawal, and A. Choudhary, "Big Data in Building Information Modeling Research: Survey and Exploratory Text Mining", *MOJ Civil Eng*, vol. 3(6), 2017.
7. T.W. Huang, "Application Case of Big Data Analysis on Dynamic BIMs with Parameters for Use Scenarios" [Master's Thesis], National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan, 2016.
8. Volkov A. A. Cybernetics of construction systems. Cyber-physical construction systems. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, no. 9, pp. 4–7. (In Russian).
9. Building a System of Diagnosis Technical Condition of Buildings on the Example of Floor Beams Using Methods of Fuzzy Sets / Terentyev, O.O., Grigorovskiy, P.E., Tugaj, A.A., Dubynka, O.V. *Lecture Notes in Civil Engineering* this link is disabled, 2020, 73, сmp. 729–739.
10. J. Li, M. Kassem, D. Greenwood, "Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases", *Automation in Construction*, Vol. 102, 2019, pp. 288–307.

УДК 621.873

Практика застосування нейромережі в задачах кінематичного дослідження роботів-маніпуляторів

Дмитро Міщук, Євген Міщук, Євгеній Горбатюк

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Дослідження кінематичних структур багатоланкових маніпуляторів є нетривіальним завданням. Складності виявляються при дослідженні кінематичних схем у яких кількість рухомих незалежних частин перевищує кількість узагальнених незалежних ступенів рухливості, так як у таких випадках має місце надлишок рухливості системи і для однієї позиції може існувати більше двох конфігурацій маніпулятора. Подібна неоднозначність сильно ускладнює пошук залежностей між узагальненими координатами системи і кінцевою точкою переміщення робочого органу. Також необхідно враховувати, що в подальшому при складанні динамічних рівнянь рухів для подібних систем, така неоднозначність ускладнює дослідження завдань динаміки.

Вирішення подібних проблем здійснюється різними методами і в даній статті розглядається можливість застосування нейронних мереж для досліджень подібних неоднозначних завдань на прикладі кінематичного дослідження шарнірно-зчленованого маніпулятора.

Ключові слова: маніпулятор; система управління; нейронна мережа.

Дослідження зміни узагальнених координат маніпулятора в залежності від побудованої траєкторії руху робочого органу є одним з ключових завдань сучасної робототехніки [1, 2]. Найбільш поширеними способами вирішення подібних завдань є класичні методи аналітичного перетворення координат положення робочого органу маніпулятора у величини переміщення органів виконавчих механізмів [3, 4]. Однак такі методи мають суттєвий недолік, що пов'язано із значними обчислювальними навантаженнями. Для вирішення подібних задач використовують методи оптимізації, за допомогою яких вдається оптимально розподіляти рухливість узагальнених координат маніпулятора, хоча такі підходи досить складні в реалізації і потребують складних математичних перетворень [5].

Нейронні мережі ефективно застосовують для вирішення завдань планування траєкторії робочого органу робота-маніпулятора, що працює зі складною кінематичною структурою [6]. Нейронні системи можуть навчатися як у моделях, і під час функціонування робота. В системах керування роботів за допомогою математичних моделей визначають зв'язки між сигналами керування на вході та переміщення робочого органу на виході. Побідний зв'язок встановлюється за допомогою кінематичних та динамічних функцій, що визначаються на основі оберненої задачі кінематики та динаміки, для розв'язку яких застосовують прямі аналітичні методи, матричні методи з побудовою оберненого Якобіана та евристичні методи із застосуванням навчання робота [7].

Нейронна мережа являє собою сукупність великої кількості порівняно простих елементів – нейронів, топологія з'єднань яких залежить від типу мережі. Щоб створити нейронну мережу для

вирішення конкретної задачі, потрібно вибрати спосіб з'єднання нейронів та підібрати значення вагових параметрів на цих зв'язках.

Опис моделі роботи нейрона в загальному випадку буде подаватися рівнянням [5, 6]:

$$y_i = f(z_j) = f\left(\sum_{j=1}^n w_j x_j + b_i\right), \quad (1)$$

де f – функція активації на вхід якої подається аргумент зваженої суми $\sum_{j=1}^n w_j x_j + b_j$; w_j – вектор вагових коефіцієнтів; n – кількість входів нейрона; x_j – вектор входних сигналів; b_i – параметр зміщення.

У загальному випадку вхідний сигнал та вагові коефіцієнти можуть приймати будь-які дійсні значення. Вихід з нейрона визначається видом функції активації та може бути як дійсним, так і цілим.

Поведінка штучної нейронної мережі залежить від поведінки кожного окремого нейрона, а поведінка нейрона визначатиметься значенням вагових параметрів та функцією активації нейронів. В даному дослідженні в якості функції активації застосовано сигмоїдальну залежність:

$$f = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (2)$$

де z – зважена сума на вході нейрона.

Для прикладу на рис. 1 показано схему архітектури нейронної мережі, яка складається з шести нейронів першого шару і двох нейронів другого шару, при цьому використовується повнозв'язний граф – тобто такий де всі нейрони першого шару послідовно пов'язані з усіма вхідними параметрами, проте нейрони наступних шарів пов'язані з усіма виходами нейронів попереднього шару.

Для визначення параметрів нейронної мережі, потрібно підібрати вагові коефіцієнти та параметри зміщення. Для цього виконують навчання мережі. В якості алгоритму навчання можна застосовувати ітеративний градієнтний метод зворотного розповсюдження помилки, який використовується для мінімізації помилки роботи багатозарової нейронної мережі з отриманням результату на виході. Основна ідея такого методу полягає в поширенні сигналів помилки від виходів мережі до її входів, в напрямку зворотному поширенню сигналів у звичайному режимі роботи [7].

Для того щоб мінімізувати похибку мережі, застосовують функцію витрат, наприклад функцію середньоквадратичної помилки:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2, \quad (3)$$

де Y_i – відома величина вихідного сигналу (приймається з даних вибірки для навчання).

Вагові коефіцієнти мережі та параметри зміщення для заданої мережі формуватимуть вектор:

$$w = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \dots \\ w_{21} \\ w_{22} \\ b_{11} \\ \dots \\ b_{22} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

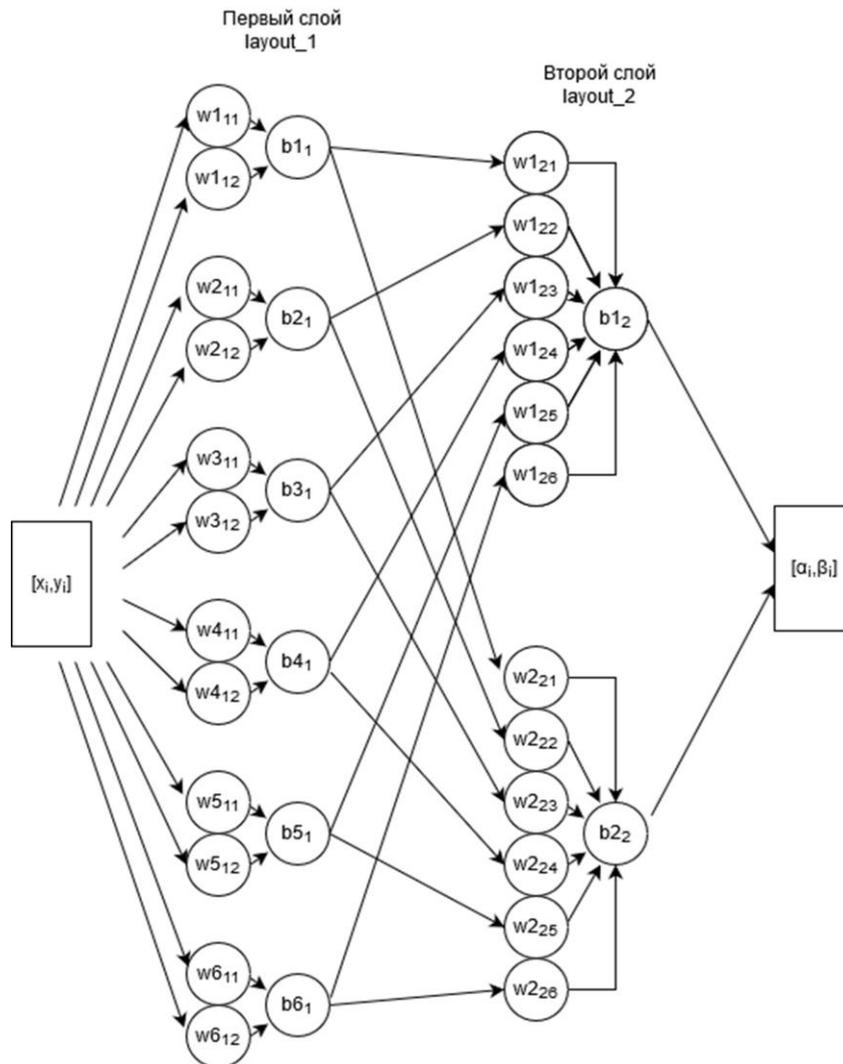


Рис. 1. Архітектура досліджуваної нейронної мережі

Далі визначається градієнт функції помилки за вказаним вектором:

$$\Delta F = \left[\frac{\partial MSE}{\partial w_{ij}} \right]. \quad (5)$$

Оскільки відомо, що градієнт показує переміщення в сторону найбільшого росту функції помилки, яку потрібно приводити до мінімального значення, тому на кожній наступній ітерації визначення вагових коефіцієнтів потрібно зменшувати значення попередньо налаштованих коефіцієнтів на величину градієнта попереднього кроку, тобто:

$$w_{i+1} = w_i - \mu \Delta F_i, \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт швидкості навчання.

Рис. 2 наведено графік, який демонструє навчання нейронної мережі при кількості ітерацій 500. Графік показує залежність зменшення помилки, яка визначається як різниця між заданими і прогнозованими координатами виходу, а на Рис. 3 показано результат моделювання роботи нейронної мережі для ангулярного маніпулятора з двома кутовими узагальненими координатами при різних кількостях ітерацій навчання моделі.

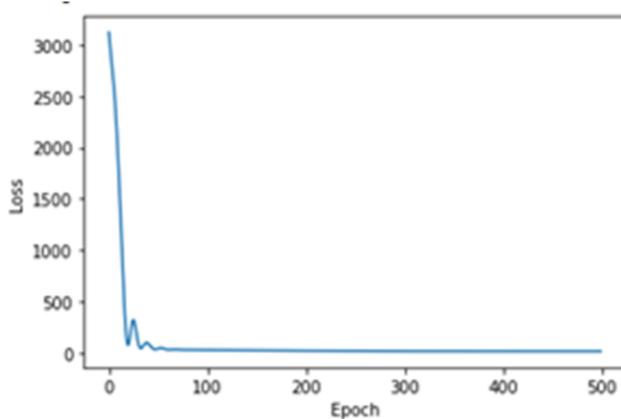


Рис. 2. Графік навчання нейронної мережі: Epoch – кількість ітерацій під час навчання; Loss – значення помилки

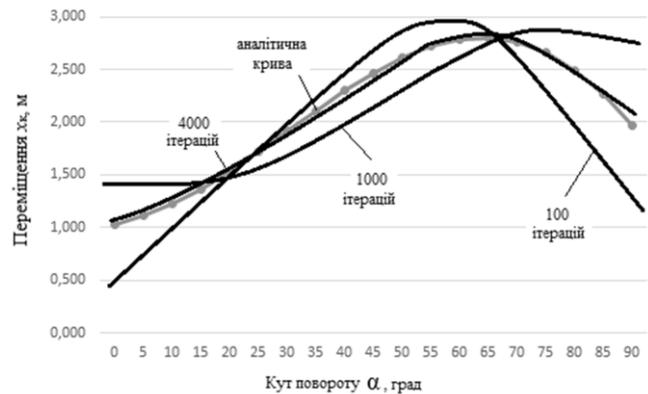


Рис. 3. Графік-порівняння теоретичних даних з результатами моделювання нейронної мережі для переміщення по координаті x_k при різних кількостях ітерацій

Список літератури

1. Mischuk D. O. (2014). *Kinematichnij analiz manipulyacijnoyi sistemi budivelnogo robota [Kinematic analysis of the manipulation system of a construction robot]*. Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta, Vol. 65-66, 90-96. – [in Ukrainian].
2. Lovejkin V. S., Mischuk D. O. (2013). *Optimizaciya rezhimiv zmini vilotu manip-ulyatora z gidroprivodom. Monografiya. [The optimization modes of change departure the manipulator with hydraulic drive. Monograph]*. Kyiv, CP Komprint Publ., 206. – [in Ukrainian].
3. Pelevin L. Ye., Pochka K. I., Mischuk D. O., Garkavenko O. M., Rusan I. V. (2016). *Sintez robototekhnichnih sistem v mashino-buduvanni: Pidruchnik [Synthesis of robotic systems in mechanical engineering: Textbook]*. Kyiv, "NVP "Interservis"" Publ., 258. – [in Ukrainian].
4. Lovejkin V. S., Mischuk D. A. (2019). *Synthesis of Optimal Dynamic Mode of Manipulator Boom Movement Mounted on Elastic Base. Science & Technique*, Nr. 18(1), 55-61. – [in Russian] <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-1-55-61>.
5. Mischuk, D., Bojchenko A. (2019). *Rozrobka koncepciji sistemi keruvannya robotom dlya shtukaturnih robot na osnovi nejronnoyi merezhi [Development of the concept of control system work for plaster works based on neural network]*. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 93, 46-60. – [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>.
6. Boychenko A., Mischuk D. (2020). *Possibilities of using the packet TensorFlow neural network design library for the kinematic study of a manipulator. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and melioretion machines], (95), 14–24. – [in Ukrainian].* <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0201>.
7. Mischuk D., Mischuk Y., Gorbatyuk Ie. (2021). *Research of the particle swarm method in the problem of optimizing the mode of motion of the manipulator along one of the generalized coordinates. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and melioretion machines], (98), 11–20. – [in Ukrainian].* <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.98.0201>.

PRACTICE OF APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN THE PROBLEMS OF KINEMATIC RESEARCH OF MANIPULATOR ROBOTS

Dmitry Mischuk, Yevhen Mischuk, Ievgenii Gorbatyuk

Abstract. Difficulties are found in the study of kinematic schemes in which the number of moving independent parts exceeds the number of generalized independent degrees of mobility, as in such cases there is an excess of mobility of the system and for one position there may be more than two configurations of the manipulator. Such ambiguity greatly complicates the search for relationships between the generalized coordinates of the system and the endpoint of movement of the working body. It should also be borne in mind that in the future when compiling dynamic equations of motion for such systems, such ambiguity complicates the study of dynamics problems.

The solution of such problems is carried out by various methods and in this article the possibility of application of neural networks for researches of similar ambiguous problems on an example of kinematic research of the hinged-articulated manipulator is considered.

Keywords: manipulator; control system; neural network.

УДК 621.873

Оцінка конструктивних та технологічних параметрів баштових кранів

Володимир Слюсар

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. В роботі здійснено огляд та аналіз технологічних і конструктивних параметрів баштових кранів, які є на ринку України та застосовуються в будівництві. Визначені основні параметри надійності баштових кранів, оскільки внаслідок значного терміну використання, можуть мати значні зношення основних одиниць. Виникає актуальна задача дослідження методів визначення відмов та встановлення закономірностей їх виникнення. Тому в роботі здійснено вибір критеріїв ефективності використання баштових кранів в умовах будівельного майданчика та запропонована методика дослідження параметрів, режимів роботи баштового крану та визначення розрахункових навантажень.

Ключові слова: баштовий кран, огляд та аналіз, параметри, критерії, ефективність, надійність, розрахункові навантаження.

Сучасний розвиток будівельної промисловості потребує підвищувати продуктивність та зменшення енергетичних витрат на протікання того чи іншого технологічного процесу. Однією із найважливіших машин на будь якому будівельному майданчику займають баштові крани, які прийнято вважати головними технологічними машинами будівництва[1]. Опис конструкцій баштових кранів[1],[2],[3],[4], ефективне використання [1] та розрахунки основних параметрів[1],[2],[3],[4],[5],[6], правила про безпечну експлуатацію[7] є основою для ефективного застосування в будівництві. Разом з тим внаслідок значного терміну використання, можуть мати значні зношення основних одиниць. Тому оцінка конструктивних та технологічних параметрів баштових кранів, дослідження їх стану та параметрів баштового крану, визначення умов його раціонального використання на будівельному майданчику є актуальною задачею. Підтвердженням необхідності вирішення цієї задачі є також те, що в Україні експлуатуються багато кранів іноземного походження(табл.1.), які потребують допоміжних обстежень.

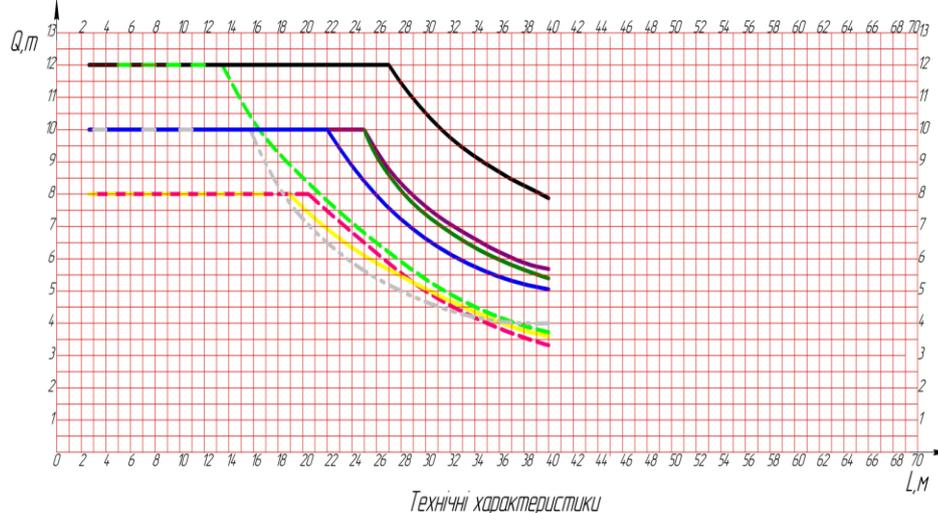
Таблиця 1

Основні технічні характеристики баштових кранів, що експлуатуються в Україні

Модель	Максимальний вантажний момент	Мах. висота підйому, м		Вантажо-підйомність при вильоту стріли т/м	Швидкість м/хв		Частота обертання об/хв	Рік випуску	Виробник
		Вільно стоячого крана	Закріплений до будівлі		Підйому вантажу	Візка			
КБ--674	400	46	Рухомий	10/35	17,5-100	0,61	0,6	1981-1997	Нікопольськ и кранобудівний завод
154ЕС-НМ6	150,6	43,8	148,8	6,0/28,7 1,8/60	0-32-152	0-100	0-0,8	2004-2006	Lsebher, Німеччина
132ЕС-Н8	162	48,8	190	8,0/19,0 1,85/55	0-115	0-100	0-0,8	2006	Lsebher, Німеччина
J110IV	134,4	46	118	8,0/16,8 1,5/55	5-20-40	15-30-60	0-0,8	2006	Jaso, Іспанія
J300	238,7	54,69	110	12,0/29,43 2,3/75	0-120	0-105	0,7	2005	Jaso, Іспанія
J180РА з нах. стрілою	282	79,7	117,8	12,0/23,5 2,7/50 із подовж.	0-67	Час змі.вил 1,5хв.	0-0,7	2004	Jaso, Іспанія
MD-175		67,6		1,9/55 5,2/30	66-122			2006	POTAIN, Франція
SMTTH-55	90,72	48,7	122,95	8,0/11,3 1,0/55	5-80	15-60	0,1-0,8	2006	San Marko, Італія

Для виконання будівельно-монтажних робіт при обґрунтуванні вибору типу крана найчастіше використовується його основний параметр – вантажопідйомність. Вантажопідйомність

визначається як найбільша допустима маса робочого вантажу, на підйом якого розрахований кран. Величина вантажопідйомності складається з маси робочого вантажу і маси знімних вантажозахватних органів (грейфера, траверс, стропів). Звідси витікає, що для вітчизняних кранів вантажопідйомність визначається масою вантажів і елементів, що навішуються на крюк крана. Другим головним параметром при обґрунтуванні вибору крану є його вантажний момент який визначається як добуток вантажопідйомності на радіус вильоту вантажу. У різних країнах прийняті різні випробувальні навантаження на крани, що характеризують до певної міри несучу здатність крана. Відмінності по несучій здатності кранів і їх вантажопідйомності необхідно враховувати при складанні карт технічного рівня і якості, рішення питань при проведенні оцінки технічного рівня вантажопідйомних кранів. На рис.1 проведені порівняльні характеристики баштових кранів різних марок.



Технічні характеристики

Марка крана	Max в/л, т	Max виліт, м	Позначення крюка	Max висота підйому, м			Швидкість зміни вильоту, м/хв	Швидкість опускання гака, м/хв	Швидкість підйому вантажу, м/хв			Потужність джерела, кВт
				Вільний	Пристаний	Нахил стропу			3 тони	5 тонн	Номінал	
280ЕС-Н12	12	70	—	56,7	256	/	0-138	100	48	48	21	204
КБ-5716	12	70	- - -	70	160	/	0-60	90				
КБ-45	12	50	- - -	62	/	83	0-55	80			25	200
200ЕС-Н10	10	60	—	68,1	181	/	0-100	82/132	47/37	19/37	19/23	76/127
КБМ-5036	10	50	—	68,2	/	90,2	0-50	90	82	70	32	200
КБ-515	10	50	—	72,1	/	95,2	0-55	90	60		30	200
КБ-408.21	10	40	- - -	54	/	72,7	0-30	45			30	125
КБ-474	8	55	- - -	48,9	222,4	/	0-45	90	45	30	22	200
132ЕС-Н8	8	55	—	56,2	186	/	0-100	140	40	24	24	69

Примітка: через дроби вказані значення-фазний діалог/короткозамкнутий діалог з частотним регулюванням

Рис.1. Порівняльні характеристики баштових кранів різних марок

Наведені результати засвідчують, що кран 280ЕС-Н12 (Liebherr, Німеччина) має найбільш ефективні параметри в роботі (в широких межах швидкість зміни вильоту 0-138 м/хв, високу швидкість опускання гака до 100 м/хв і максимальний виліт 70 м). Зниження матеріаломісткості і енергоємності продукції, що випускається, особливої актуальності набуває комплексна оцінка технічного рівня машин. При оцінці технічного рівня сучасних кранів необхідно враховувати не тільки їх технічні характеристики, що входять у показники призначення, але і конструктивну досконалість машин, їхню економічність, що визначається рівнем проектно-конструкторських рішень. Необхідно проводити зіставлення оцінюваного крана з кращими базовими зразками-аналогами, що відрізняються класифікаційним показником, що характеризує типорозмір даної машини, не більше ніж на 5—10%. Для кранів таким показником є вантажопідйомність. Проте при таких обмежених змінах вантажопідйомності можливі значні коливання інших показників, наприклад, вантажного моменту, вильоту, висоти і швидкості підйому. В цьому випадку порівняння за абсолютними показниками (конструктивній масі, потужності тощо) не дозволяє отримати зіставних результатів, тому доцільно застосовувати питомі відносні показники.

Одним з найважливіших показників, що характеризують ступінь конструктивної досконалості крана, може служити питома матеріаломісткість:

$$m_{\text{пит}} = G/M, \quad (1)$$

де G — конструктивна маса крана, залежна від його вантажних характеристик — максимальної вантажопідйомності Q , висоти H і вильоту L , відповідного максимальній вантажопідйомності; $M = QLH$ — вантажовисотний момент, що якнайповніше характеризує споживчі властивості крана. Іншим комплексним показником технічної ефективності крана є його питома енергоємність, яка залежить від вантажопідйомності крана, його вильоту, висоти підйому, швидкостей механізмів і інших чинників. Розглянемо спосіб визначення питомої енергоємності.

Іншим комплексним показником технічної ефективності крана є його питома енергоємність, яка залежить від вантажопідйомності крана, його вильоту, висоти підйому, швидкостей механізмів і інших чинників.

Розглянемо спосіб визначення питомої енергоємності.

Сумарна витрата електроенергії за одиницю часу при роботі крана може бути визначена по формулі:

$$E = \sum_{i=1}^n P_i t_i, \quad (2)$$

де P_i і t_i — відповідно потужність і час роботи i -го робочого механізму крана; n — число робочих механізмів.

У різних країнах прийняті різні випробувальні навантаження на крани, що характеризують до певної міри несучу здатність крана. Відмінності по несучій здатності кранів і їх вантажопідйомності необхідно враховувати при складанні карт технічного рівня і якості, рішення питань при проведенні оцінки технічного рівня вантажопідйомних кранів. Критерії вибору визначаються цілями, досягнення котрих забезпечить високу якість крану, під котрим розуміється «сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності із її значенням». Критерії можуть бути кількісними (наприклад, вартість, маса, міцність, надійність і ін.) та якісними, котрі не можна або важко змінити (умови праці, маневреність, універсальність та ін.). Вибір ведеться на основі досвіду, інтуїції, аналогій із існуючими конструкціями у поєднанні із об'єктивним математичним аналізом, що забезпечує оптимальне рішення. Цьому служить і постановка спеціальних наукових досліджень.

Математичне вирішення при наявності якісних критеріїв важко, тому бажано їх замінити кількісними, підшуковуючи еквіваленти, наприклад, оцінювати поліпшення умов праці через підвищення її продуктивності, або застосовуючи експертні оцінки у балах. Існують різні методи встановлення експертної оцінки, що у більшому або меншому ступені згладжують їх суб'єктивність. Об'єктивний, математично обґрунтований вибір значень параметрів потребує побудови залежності критерію від факторів, що впливають на нього. Оптимізація полягає у визначенні тих значень шуканих факторів, котрі приводять функцію до мінімального (наприклад, вартість, витрати ресурсів) або максимального (продуктивність, надійність) значення у області обмежень, що задаються. Процес оптимізації може бути здійснений перебором та порівнянням варіантів, застосуванням методів математичного програмування або використанням електронно-обчислювальних машин, наприклад, у процедурі імітаційного моделювання.

Розглянемо спосіб визначення питомої енергоємності. Питома енергоємність може бути виражена через відношення сумарної витрати електроенергії E до узагальненого показника — вантажного моменту, що характеризує кран в цілому, і до висоти підйому H , що характеризує час роботи основного двигуна механізму підйому:

$$e_{\text{пит}} = \frac{E}{M \cdot H} \quad (3)$$

Після перетворень отримаємо вираз для визначення комплексного показника питомої енергоємності:

$$e_{\text{пит}} = \frac{P_{\text{вст}}}{M_v} \quad (4).$$

Показник $e_{\text{пит}}$ характеризує не тільки економічність конструкції крана, $\sum_{i=1}^n P_i$ але і його швидкодію (v). Очевидно, чим менше питомі показники, $m_{\text{пит}}$, $e_{\text{пит}}$ тим більш раціональна конструкція крана. Приведені питомі показники дозволяють об'єктивно і комплексно оцінити показники призначення, що і здійснено для конкретних конструкцій баштових кранів.

Список літератури

1. Назаренко І.І., Німко Ф. О. Вантажопідіймальна техніка (конструкції, ефективно використання, сервіс). Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів). - К: Видавничий дім «Слово», 2010. – 400с
2. Бондарев В. С., Колісник Н. П., Дубинець О.І., Горбатенко Ю. П., Бондарев С. В., Барабанов В. Я. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин. Підручник з грифом МОН України. — К.: «Вища школа», 2009. — 734 с.
3. Гончарук О. М., Стрілець В. М. Вантажопідійомна, транспортуюча та транспортна техніка /. — Рівне: НУВГП, 2006. — 345 с.
4. Григоров О. В., Петренко Н. А. Вантажопідійомні машини /— Харків: НТУ «ХПИ», 2006. — 182 с.
5. Справочник по кранам: В 2т. Т1. Характеристики механизмов и нагрузок. Основы расчетов кранов и их приводов и металлических конструкций / В. И. Брауде, М. М. Гохберг, и др.; Под общ.ред. М. М. Гохберга Л.: Машиностроение, Ленинград от-ние, 1988-519с.
6. Справочник по кранам: В 2т. Т2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин и др. Под общ.ред. М. М. Гохберга Л.: Машиностроение, Ленинград от-ние, 1988-559с.
7. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів. – К: Основа, П68. 2007-312с.

ASSESSMENT OF CONSTRUCTIONAL AND TECHNOLOGICAL TOWER CRANE PARAMETERS

Volodymyr Slyusar

Abstract. In the processing of the review and analysis of technological and structural tower cranes are on the market of Ukraine and the parameters that are under construction. The main parameters of the reliability of tower cranes due to the significant service life can be significant values of the basic units. There is an urgent problem of studying the methods of determining failures and establishing the patterns of their occurrence. Through the study of the criteria for the effectiveness of the use of tower cranes in the construction site and the recommended research methods, modes of operation of the tower crane and determine the design parameters of the loads.

Keywords: tower crane, inspection and analysis, parameters, criteria, efficiency, reliability, design loads.

УДК 621.875.322-82

Методи оцінки показників безвідмовності гідравлічних приводів машин з урахуванням кореляції умов роботоздатності

Віталій Лесько

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

Анотація. Сучасні гідравлічні приводи будівельних машин представляють собою складні багатофункціональні системи із складною змінною структурою, стохастичними взаємозв'язками та взаємодією його елементів. Складний кореляційний зв'язок між вихідними параметрами гідроприводу та технічним станом його окремих елементів, ускладнюють розрахунки показників надійності гідроприводу. Це породжує необхідність шукати нові нетрадиційні шляхи і методи для вирішення задач оцінки і прогнозування надійності гідроприводів. Особливо важливим і відповідальним етапом є розробка математичних моделей відмов, які би в повній мірі відображали множинну кореляційних зв'язків між відмовами та умовами роботоздатності, що характеризують технічний стан гідроприводу та його зміни в часі. В даній роботі проводиться порівняльний аналіз існуючих імовірнісних моделей роботоздатності складних технічних систем для задач оцінки показників надійності гідравлічних приводів будівельних машин.

Ключові слова: гідропривід; надійність гідроприводу; моделі роботоздатності; кореляція відмов; імовірність збереження роботоздатності; статистичне моделювання.

Успішне вирішення питань забезпечення надійності машин в значній мірі визначається ефективністю теоретичних і прикладних розробок в області оцінок і прогнозування показників надійності. Нажаль, слід відзначити, що разом із позитивною оцінкою досягнень в області надійності будівельних машин, в даний час визріла певна криза в застосуванні результатів наукових досліджень а також методик, стандартів і підходів, які були розроблені на їх базі. Як відомо, до останнього часу домінуючу роль в дослідженнях грали імовірно-статистичні методи оцінки надійності, коли відмови машини та її елементів розглядалися як основна абстрактна категорія без аналізу процесів їх формування.

Але не зважаючи на те, що на основі цих методів було зроблено багато важливого та корисного, такий підхід не створює достатніх передумов і не зовсім є прийнятним для оцінки надійності гідроприводів сучасних будівельних машин, наприклад, одноківшових екскаваторів, що представляють собою складні багатофункціональні системи зі складною змінною структурою, взаємозв'язками та взаємодією його елементів. Для гідроприводів цих машин найбільш характерними видами відмов, наряду з іншими відмовами, є параметричні відмови, що призводять до зміни в часі рівня роботоzдатності його елементів і, як результат, – до зниження ефективності функціонування гідроприводу в цілому, що з точки зору надійності при певних умовах також слід розглядати як параметричну відмову гідроприводу за інтегральним показником «ефективність функціонування».

Складні стохастичні зв'язки між вихідними параметрами гідроприводу та технічним станом його окремих елементів в різній мірі впливають на формування параметричних відмов і ускладнюють розрахунки показників надійності гідроприводу. Тому тут особливо важливим і відповідальним слід вважати етап розробки математичних моделей відмов, які би в повній мірі відображали множинну кореляційних зв'язків між відмовами та умовами роботоzдатності, що характеризують технічний стан гідроприводу та його зміни в часі. Це дало би змогу отримувати більш реальну і точнішу оцінку показників надійності гідроприводів одноківшових екскаваторів.

Одним із таких показників є показник безвідмовності – «імовірність безвідмовної роботи» гідроприводу, задача оцінки якого викликає необхідність розгляду багатовимірних умов роботоzдатності ГП та зводиться до визначення імовірності:

$$P = P\left\{\bigcap_{j=1}^N A_j\right\} = 1 - P\left\{\bigcup_{j=1}^N \overline{A}_j\right\}$$

того, що сумісно відбудуться N подій $A_j \subset S_1, (j = \overline{1, N})$. Подія A_j є випадковою і заключається в збереженні умов роботоzдатності $\varphi_j > 0$. Таким чином, для забезпечення роботоzдатності гідроприводу ОЕ необхідно, щоб одночасно зберігалися всі умови роботоzдатності елементів ГП та умови збереження заданого рівня ефективності його функціонування.

В загальному випадку імовірність безвідмовної роботи ГП в такій постановці задачі визначається за такою моделлю:

$$P = P\left\{\bigcap_{j=1}^N (\varphi_j > 0)\right\} = P\left\{(\varphi_1 > 0) \cap \dots \cap (\varphi_j > 0) \cap \dots \cap (\varphi_N > 0)\right\} = \int (N-1) \int f(\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_N) \times d\varphi_1 \dots d\varphi_j \dots d\varphi_N. \quad (1)$$

Якщо мають місце N умов роботоzдатності $\varphi_j > 0$ і всі вони підкоряються нормальному закону розподілу, то імовірність того, що всі умови будуть виконуватися, тобто не відбудеться відмови, визначається за формулою:

$$P\{\varphi_1 > 0, \dots, \varphi_j > 0, \dots, \varphi_N > 0\} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^N D \prod_{j=1}^N \sigma_{\varphi_j}}} \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{1}{2D} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N D_{ij} \frac{\varphi_i \varphi_j}{\sigma_{\varphi_i} \sigma_{\varphi_j}} d\varphi_1, \dots, d\varphi_j, \dots, d\varphi_N\right\} \quad (2)$$

де: $D_{ij} = \left\|r_{\varphi_i \varphi_j}\right\|$ - матриця коефіцієнтів кореляції між умовами роботоzдатності.

Визначення імовірності виконання сукупності умов роботоздатності (2) припускає обчислення нормальних інтегралів розподілу.

Але навіть при нормальному розподілі випадкових величин φ_j вирішення такої задачі викликає певні труднощі і отримане лише для двомірного та трьохмірного випадків, причому для обчислення імовірності $P\{\cdot\}$ вимагається застосування достатньо складних спеціальних таблиць [5]. Для випадку нормального розподілу параметрів методи вирішення цієї задачі базуються [6, 3] на зниженні порядку інтегралу, апроксимації його різними функціями, розкладення в ряд по коефіцієнтам кореляції (наприклад, в роботі [3]), зведення вихідного багатомірного розподілу перетворенням координат [13] до некорельованих складових (до канонічного вигляду), використанні методів зведення матриці $\|r_{ji}\|$ до діагонального вигляду.

Але всі ці методи при $N > 2$ не приводять до отримання аналітичних співвідношень, які були би достатньо простими для використання на практиці.

В частковому випадку, для двох умов роботоздатності, рішення інтегралу (2) зводиться до табличних [3, 6, 12]:

$$P(\varphi_1 > 0, \varphi_2 > 0) = \int_0^\infty \int_0^\infty f(\varphi_1, \varphi_2) d\varphi_1 d\varphi_2 = \frac{1}{2} [\Phi(\alpha_1) + \Phi(\alpha_2)] - T(\alpha_1 \beta_1) - T(\alpha_1 \beta_2), \quad (3)$$

$$\text{де: } \alpha_1 = \frac{m_{\varphi_1}}{m_{\sigma_1}}; \alpha_2 = \frac{m_{\varphi_2}}{m_{\sigma_2}}; \beta_1 = (\alpha_2 - \alpha_1 r_{\varphi_1 \varphi_2}) / \alpha_1 \sqrt{1 - r_{\varphi_1 \varphi_2}}; \beta_2 = (\alpha_1 - \alpha_2 \cdot r_{\varphi_1 \varphi_2}) / \alpha_2 \sqrt{1 - r_{\varphi_1 \varphi_2}};$$

$T(\cdot)$ – таблична функція двомірного нормального розподілу (функція Оуена) [3,5]; $\Phi(\cdot)$ – функція нормального розподілу (функція Лапласа) [1, 18]; $m_{\varphi_1}, m_{\varphi_2}$ – математичне очікування величин φ_1 та φ_2 ; $\sigma_{\varphi_1}, \sigma_{\varphi_2}$ – середньоквадратичне відхилення величин φ_1 та φ_2 ; $r_{\varphi_1 \varphi_2}$ – коефіцієнт кореляції між φ_1 та φ_2 .

При довільному законі розподілу складових підінтегрального виразу обчислити імовірність (2) доволі складно або взагалі неможливо. При невеликій кратності інтегралу (2) його можна обчислити за допомогою ряду Кендалла [3] або рішення ряду Іуду [4]. Можна також скористатися розкладанням щільності довільного багатомірного розподілу в багатомірний ряд Грама – Шарльє [3,14], або за допомогою методу Монте – Карло [1,2].

Аналітичне рішення для імовірності збереження роботоздатності гідроприводу в простих випадках можна знайти, якщо скористатися апроксимацією багатомірної щільності імовірностей $f(\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_N)$ рядом Еджворта або рядом Лаггера [15] багатомірним розкладанням [9, 10, 11] при обмеженні його першими членами. Багатомірне розкладання при цьому має вигляд:

$$f(\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_N) = \Psi(\varphi_1, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_N) \left\{ 1 + \frac{1}{3!} \sum_{i=1}^N \left(A_i^3 - \frac{3D_{ij} A_i}{D} \right) M(\varphi_i^3) + \frac{1}{2!} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \left[A_i^2 A_j - \frac{1}{D} (D_{ij} A_j + \right. \right. \\ \left. \left. + 2D_{ij} A_i) \right] M(\varphi_i^2 \varphi_j) + \sum_{\substack{i,j,k=1 \\ i \neq j \neq k}}^N \left[A_i A_j A_k - \frac{1}{D} (D_{ij} A_k + D_{kj} A_i + D_{ik} A_j) \right] M(\varphi_i \varphi_j \varphi_k) + \dots \right\}, \quad (4)$$

де: $\Psi(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N)$ – багатомірний (N – мірний) нормальний розподіл, причому:

$$\Psi(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N) = \frac{1}{\sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \dots \cdot \sigma_n \sqrt{(2\pi)^N D}} \exp \left(-\frac{1}{2D} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N D_{ij} \frac{\varphi_i \varphi_j}{\sigma_{\varphi_i} \sigma_{\varphi_j}} \right); \quad (5)$$

де: M – оператор математичного очікування; D – визначник N – го порядку кореляційної матриці, складеної із нормалізованих коефіцієнтів r_{ik} кореляції умов роботоздатності φ_i, φ_k наступним чином:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1N} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2N} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{N1} & r_{N2} & r_{N3} & \dots & 1 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$r_{ik} = r_{ki}$; $|r_{ik}| \leq 1$; D_{ik} - алгебраїчне доповнення елементу r_{ik} кореляційної матриці; σ_i та σ_j - середньоквадратичне відхилення значень величин φ_i та φ_j ; коефіцієнти A_k дорівнюють :

$$A_k = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^N D_{ik} \cdot \varphi_i. \quad (7)$$

Обмежуючись першими двома членами багатовимірною розкладання (4), імовірність збереження роботоздатності гідроприводу можна отримати в більш простому вигляді:

$$P(\varphi_1 > 0, \varphi_2 > 0, \dots, \varphi_N > 0) = \int (N-1) \Psi(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N) \times \left[1 + \frac{1}{3!} \sum_{i=1}^N \left(A_i^3 - \frac{3D_{ij}A_i}{D} \right) M(\varphi_i^3) \right] \cdot d\varphi_1 \times \\ \times d\varphi_2 \dots d\varphi_N. \quad (8)$$

В деяких практичних інженерних розрахунках для визначення імовірнісного показника (1) можуть бути використані спрощені способи оцінки стохастичної залежності випадкових величин і функцій. Одним із таких способів є так званий метод узагальненої коваріації [17], при якому багаточисленні коефіцієнти кореляції замінюють одним узагальненим коефіцієнтом. В такому разі формула імовірності збереження роботоздатності ГП записується так:

$$P\{T \geq t\} = P\{\varphi_1 > 0\} \cdot P\{\varphi_j > 0\} \times \dots \times \{\varphi_N > 0\} + \Delta P, \quad (9)$$

де: ΔP - поправка, яка враховує помилку розрахунку внаслідок неврахування стохастичної залежності умов роботоздатності гідроприводу.

Без урахування стохастичних зв'язків між умовами роботоздатності ГП згідно [16] отримаємо максимальну помилку розрахунку імовірності роботоздатності :

$$(\Delta P)_{\max} = P_{j \min} - \left[1 - \sum_{j=1}^N (1 - P_j) \right], \quad (10)$$

де: $P_{j \min}$ - мінімальна із оцінок P_j ;

P_j - оцінка імовірності безвідмовної роботи ГП за j -ою умовою роботоздатності;

$$P_j = P\{\varphi_j > 0\}, j = \overline{1, N}.$$

Таким чином фактичне значення імовірності збереження роботоздатності ГП знаходиться в межах:

$$\prod_{j=1}^N P_j \leq P\{T \geq t\} \leq \prod_{j=1}^N P_j + P_{j \min} - \left[1 - \sum_{j=1}^N (1 - P_j) \right]. \quad (11)$$

Звідси маємо, що узагальнений коефіцієнт кореляції дорівнює:

$$r = \Delta P / (\Delta P)_{\max} = \Delta P / \left\{ P_{j \min} - \left[1 - \sum_{j=1}^N (1 - P_j) \right] \right\} \approx \Delta P / \left(P_{j \min} - \prod_{j=1}^N P_j \right). \quad (12)$$

Підставляючи величину ΔP із виразу (12) у вираз (9), одержимо імовірнісний показник:

$$P\{T \geq t\} \approx r P_{j \min} \{T \geq t\} + (1 - r) \prod_{j=1}^N P_j \{T > t\}. \quad (13)$$

Вираз (13) свідчить, що при коефіцієнті кореляції між умовами роботоздатності $r = 0$ імовірність роботоздатності ГП визначається як для системи з послідовно з'єднаними і незалежними елементами:

$$P\{T \geq t\} = \prod_{j=1}^N P(\varphi_j > 0) \quad (14)$$

При тісному кореляційному зв'язку між умовами роботоздатності ($\rho \approx 1$) імовірність роботоздатності ГП слід розраховувати за однією із умов роботоздатності, яка має найменший імовірнісний показник:

$$P\{T \geq t\} = P_{j_{\min}}(\varphi_j > 0) \quad (15)$$

При нормальному законі розподілу умов роботоздатності розрахункове значення узагальненого коефіцієнта кореляції може бути представлено у вигляді [17]:

$$r \approx r_m \left\{ 2 - \left[r_m + \frac{(1-r_m)(3-\lg N)}{1-0,1r_m^2(3-\lg N)^2} \right] \right\}, \quad (16)$$

де середнє значення коефіцієнтів кореляції :

$$r_m = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i < j} r_{i,j} \quad (17)$$

При нормальному законі розподілу величин $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_N$ оцінка імовірності збереження роботоздатності гідроприводу також може бути оцінена за допомогою приближення Судакова [7, 8] (з помилкою порядку 2...10% від величини 1 - P) за такою формулою :

$$P(\phi_1 > 0, \phi_2 > 0, \dots, \phi_N > 0) = \prod_{j=1}^N P(\phi_j > 0) + \Delta P = \prod_{j=1}^N P(\phi_j > 0) + \left[P_{j_{\min}}(\phi_j > 0) - \prod_{j=1}^N P(\phi_j > 0) \right] \cdot K_N \quad (18)$$

У виразі (18) коефіцієнт K_N визначається таким чином:

$$K_N = \frac{2}{\pi \cdot c} \sum_{i < j} \arcsin \cdot r_{i,j}, \quad (19)$$

де: $r_{i,j}$ – оцінка парного коефіцієнту кореляції між i – ою та j – ою умовами роботоздатності ;
 індекс “ $i < j$ ” під знаком суми означає, що в K_N входять тільки ті можливі сполучення та комбінації коефіцієнтів кореляції, для яких $i < j$, тобто $r_{\varphi_1\varphi_2}, r_{\varphi_1\varphi_3}, r_{\varphi_2\varphi_3} \dots$ і т.п., але не можна брати $r_{\varphi_{31}}, r_{\varphi_{21}}, r_{\varphi_{32}} \dots$

c – число комбінацій індексів i та j при $i < j$; $\left[c = \left(\frac{N}{2} \right) = N(N-1) / 2 \right]$.

Із викладеного вище видно, що для зменшення невизначеності в кількісній оцінці імовірності безвідмовної роботи вкрай необхідно отримати та обробити дуже великий об'єм статистичної інформації щодо кореляції відмов, тобто про коефіцієнт кореляції відмов. Складність визначення коефіцієнтів парної або множинної кореляції відмов елементів ГП полягає у вирахованні імовірності добутку подій:

$$P(\overline{A_i A_j}) = P(\overline{A_i})P(\overline{A_j} / \overline{A_i}) = P(\overline{A_j})P(\overline{A_i} / \overline{A_j}).$$

Судячи із опублікованих робіт в теорії надійності, до нинішнього часу відсутні більш-менш прийнятні методи визначення умовних імовірностей $P(\overline{A_i} / \overline{A_j})$ та $P(\overline{A_j} / \overline{A_i})$. Іноді, для того, щоб уникнути розрахункових проблем, безпідставно вважають, що з достатньою для практики точністю можна використовувати модель незалежності відмов. Але застосування моделі (14) при оцінці показників надійності таких складних систем як гідропривід ОЕ, а особливо тоді, коли враховуються залежності умов збереження роботоздатності його елементів та ефективності функціонування, - може привести до великих похибок. Крім цього, складність аналітичного запису моделей та їх громіздкість викликає неабиякі математичні складнощі і незручності у використанні або навіть неможливість їх використання.

Вихід з цього положення можна знайти, використовуючи методи статистичного, імітаційного моделювання на основі імовірнісно-фізичних та імовірнісно-статистичних моделей надійності з урахуванням мінливої структури гідроприводу при його функціонуванні, зв'язків між елементами,

умовами роботоздатності та процесів формування відмов в залежності від заданих умов роботоздатності і рівня ефективності гідроприводу.

За результатами досліджень в цьому напрямку було опубліковано деякі роботи [19, 20, 21, 22], де запропоновано методи оцінки та прогнозування показників надійності гідроприводу одноківшового екскаватора на основі діагностичної інформації із використанням імітаційного моделювання формування параметричних відмов.

Список літератури

1. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М., Наука, 1969, - 576 с.
2. Соболев И. М. Метод Монте – Карло. М., Физматгиз, 1970, - 64 с.
3. Кендалл М., Стьюарт А. Теория распределений. М., Наука, 1966, - 588 с.
4. Игуду К. А. Оптимизация устройств автоматики по критерию надежности. М., Советское радио, 1962, -194 с.
5. Оуэн Д. Б. Сборник статистических таблиц. М., ВЦ, АН СССР, 1964, - 566 с.
6. Волков Л. И., Шишкевич А. М. Надежность летательных аппаратов. М. : Высшая школа, 1975. – 294 с.
7. Волков Е. Б., Судаков Р. С., Сырицын Т. А. Основы теории надежности ракетных двигателей. М., «Машиностроение », 1974, - 400 с.
8. Судаков Р. С., Чеканов А. Н. К вопросу о вычислении многомерных нормальных интегралов в задачах надежности. “ Техническая кибернетика ”, 1972, №1, с. 30 – 41.
9. Бессонов А. А. Прогнозирование характеристик надежности автоматических систем. – Л. : Энергия, 1970. –152с.
10. Половко А. М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964. – 446 с.
11. Сапожников Р. А., Бессонов А. А., Шаломуцкий А. Г. Надежность автоматических управляющих систем. – М.: Высшая школа, 1964. – 264 с.
12. Абезгауз Г. Г., Тронь А. П., Коперник Ю. Н., Коровина И. А. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1966. – 458 с.
13. Крамер Г. Математические методы статистики. ИИЛ, 1948.
14. Тихонов В. И. Статистическая радиомеханика. М.: Советское радио, 1966.
15. Методы расчета надежности изделий с учетом постепенных отказов.- М.: Издательство стандартов, 1976. – 100 с.
16. Кудзис А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций. – Вильнюс: Моклас, 1985. – 156 с.
17. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука. 1988. – 480 с.
18. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1990. –248 с.
19. Лесько В.І. Метод оцінки показників надійності гідроприводів одноківшових екскаваторів із застосуванням методу Монте-Карло. Гірничі, будівельні, дорожні, та меліоративні машини. Випуск № 52. Республіканський. міжвідомчий науково-технічний збірник, м. Київ, КНУБА, 1998р.
20. Лесько В.І., Лесько Л.Г. Імовірнісні моделі параметричної надійності гідроприводів машин.. Техніка будівництва №29, 2012 р., Академія будівництва України, КНУБА. с. 77-82.
21. Лесько В.І. Моделювання параметричних відмов гідравлічних екскаваторів з урахуванням ефективності їх функціонування при прогнозуванні та оцінці показників надійності. Техніка будівництва №9, 2001р., Академія будівництва України, КНУБА.
22. Лесько В.І. Метод оцінки показників надійності гідроприводів одноківшових екскаваторів із застосуванням статистичного моделювання. Техніка будівництва №33, 2014 р., Академія будівництва України, КНУБА. --51с., с.18-23.

ANALYSIS OF CERTAIN PROBABILISTIC MODELS OF OPERABILITY FOR THE PROBLEMS OF ESTIMATION OF RELIABILITY OF HYDRAULIC DRIVES OF MACHINES

Vitalii Lesko

Abstract. Modern hydraulic drives of building machines are complex multifunctional systems with a complex variable structure, interconnections and the interaction of its elements. The complex correlation between the source parameters of the hydraulic drive and the technical condition of its individual elements complicate the calculation of reliability indicators of the hydraulic drive. This creates the need to look for new unconventional ways and methods to solve problems of estimation and forecasting of reliability of hydraulic drives. A particularly important and crucial stage is the development of failure mathematical models to fully reflect the multiple correlation links between failures and working conditions that characterize the technical condition of the hydraulic drive and its changes in time. In this paper a comparative analysis of the existing probabilistic models of the complex technical systems operability for the problems of estimation of reliability of hydraulic drives of construction machines is carried out.

Keywords: Hydraulic drive; reliability of Hydraulic drive; Serviceability models; Correlation relationships; likelihood of maintaining serviceability; Statistical modelling.

УДК 621.86 (075.6)

Основні принципи системи фірмового обслуговування будівельних машин

Віталій Лесько, Віталій Слюсаренко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна.

***Анотація.** У сучасних умовах гострої конкурентної боротьби на ринку машин та устаткування обов'язковою умовою їх благополучного існування є створення розгорнутої і добре організованої мережі технічного обслуговування. Проте, ефективний розвиток фірмового обслуговування машин можливий лише за правильної організації системи в цілому, раціональному поєднанні принципів централізації і децентралізації управління єдиній технічній політиці всіх її елементів. З метою вирішення загальних завдань в системі фірмового обслуговування мають бути об'єднані всі основні підрозділи сфери виробництва і експлуатації техніки. В основі вирішення цих задач повинно бути створення регіональних підсистем фірмового обслуговування, до складу яких можуть входити і здійснювати спільну діяльність підприємства-виробники повнокомплектної техніки і елементної (комплектуючої) бази, споживачі техніки, підприємства товаропровідної мережі виробників (дилери), технічні центри, ремонтні заводи, експлуатаційні бази технічного сервісу, науково-дослідні і навчальні заклади та інші підрозділи. Центральним елементом системи, що може безпосередньо об'єднувати і пов'язувати сфери виробництва і експлуатації техніки, мають бути підприємства (технічні центри), виробнича діяльність яких має бути направлена на реалізацію завдань і функцій, закладених в системі фірмового обслуговування. Для цього, на першому етапі розвитку вітчизняного технічного сервісу першочерговим завданням має стати якнайшвидше створення та впровадження регіональних технічних центрів, як основних елементів регіональних підсистем фірмового обслуговування будівельних і дорожніх машин на території України.*

***Ключові слова:** технічний сервіс будівельних машин; фірмове обслуговування; ринок машин та послуг; дилерські організації; регіональні технічні центри.*

Стратегія розвитку технічного сервісу будівельних і дорожніх машин та її вибір повинні базуватися в основному на принципах і завданнях системи фірмового обслуговування. Звичайно, на вибір стратегії також впливає економічна ситуація в країні, стан галузі будівельного і дорожнього машинобудування, якість продукції, прийнятої концепції розвитку будівельної галузі і т. п. Необхідність розвитку фірмового обслуговування також обумовлена широким впровадженням в сучасних машинах складних систем гідравлічного і електронного обладнання, що вимагає більш сучасних форм і методів технічного обслуговування та ремонту, високої технічної культури їх виконання та організації за участю підприємств-виробників

Основоположним принципом системи фірмового обслуговування будівельних і дорожніх машин повинна бути повна відповідальність підприємств-виробників машин за працездатність продукції на протязі всього терміну експлуатації в будь-якому регіоні її використання. Тому при формуванні систем фірмового обслуговування виробникам техніки слід керуватися наступними положеннями, які приведені нижче.

Відповідальність за організацію технічного обслуговування і сервісу машин, устаткування і інших готових виробів протягом всього періоду їх експлуатації несе виробник машин. Технічне обслуговування і сервіс є важливими чинниками розширення збуту. Успішна торгівля не буде забезпечена до тих пір, поки не гарантується забезпечення запасними частинами і проведення ремонту, це є головним правилом. У сучасних умовах гострої конкурентної боротьби на ринку машин та устаткування обов'язковою умовою благополучного існування є створення розгорнутої і добре організованої мережі технічного обслуговування.

Сервіс є важливою статтею доходу, так як кожна гривня, що вкладена у виробництво запасних частин і організацію технічного обслуговування проданих машин, може забезпечити удвічі більший прибуток, ніж сама техніка.

Технічне обслуговування є найважливішим інструментом конкурентної боротьби за ринки і сфери впливу. Використання політики цін як інструменту конкурентної боротьби на ринку машин і устаткування помітно скорочується. Тепер уже не ціна, а якість, новизна і масштаби технічного обслуговування є вирішальними чинниками при виборі продукції і послуг, які можуть зацікавити покупця машин.

Виробник забезпечує технічне обслуговування і сервіс техніки, що поставляється, протягом всього періоду експлуатації, тобто до повної його амортизації. Система технічного обслуговування техніки включає весь комплекс послуг: постачання запасними частинами, технічною документацією, проведення ремонтних робіт, навчання фахівців, вивчення ефективності роботи машин і устаткування, виявлення їх переваг і недоліків, проведення модернізації і т. п.

Галузь будівельного, дорожнього і комунального машинобудування відрізняється великою різноманітністю типів, конструкцій машин, що випускаються, і умов їх експлуатації. Проте, ефективний розвиток фірмового обслуговування машин можливий лише за правильної організації системи в цілому, раціональному поєднанні принципів централізації і децентралізації управління єдиній технічній політиці всіх її елементів. Існуючий організаційний розрив, що існує в даний час між виробником і споживачем будівельних машин є гальмом як для подальшого вдосконалення їх використання, так і для підвищення їх якості. З метою вирішення загальних завдань в системі фірмового обслуговування мають бути об'єднані всі основні підрозділи сфери виробництва і експлуатації техніки.

В основі вирішення цих задач повинно бути створення регіональних підсистем фірмового обслуговування, до складу яких можуть входити і здійснювати спільну діяльність підприємства-виробники повнокомплектної техніки і елементної (комплектуючої) бази, споживачі техніки, підприємства товаропровідної мережі виробників (дилери), технічні центри, ремонтні заводи, експлуатаційні бази технічного сервісу, науково-дослідні і навчальні заклади та інші підрозділи.

Центральним елементом системи, що може безпосередньо об'єднувати і пов'язувати сфери виробництва і експлуатації техніки, мають бути підприємства (технічні центри), виробнича діяльність яких має бути направлена на реалізацію завдань і функцій, закладених в системі фірмового обслуговування. Вони мають тісно взаємодіяти із експлуатаційними і ремонтними підприємствами, з однієї сторони, і заводами-виробниками і постачальниками комплектуючих виробів — з іншої сторони, реалізовувати прямий і зворотний зв'язок підприємств-виробників і споживачів.

Через ці підприємства, що є основними елементами регіональних підсистем фірмового обслуговування, підприємства-виробники зможуть проводити технічну політику по підтриманню працездатності машин і отримувати необхідну інформацію, що дозволить оцінити зусилля по підвищенню надійності машин, а також приймати конкретні оперативні заходи по усуненню виявлених конструктивних, технологічних і організаційних недоліків. Дані підприємства можуть мати різноманітний правовий і юридичний статус, форми власності, але загальним об'єднуючим фактором для них має стати приналежність до товаропровідної мережі виробників техніки та напрямок виробничої діяльності.

Якщо розглядати і взяти до уваги досвід інших країн, то можна відмітити наступне. Зазвичай, у світовій практиці прийнято, що технікою торгують виключно дилерські організації, які уповноважені виробниками машин представляти їх інтереси, розглядати на місці всі претензії по гарантіях, здійснювати послуги технічного сервісу лише відповідно до технологій, рекомендованих виробників, забезпечувати постачання запасних частин, включених в прейскуранти виробників. Зрозуміло, що дилери можуть вирішувати проблеми, лише маючи повну технічну, інформаційну, правову і цінову підтримку виробника. Всі ці питання обмовляються в дилерських угодах або угодах торгової політики виробників техніки. Окрім продажів техніки, дилер повинен виконувати широкий спектр послуг сервісу матеріально-технічного і інформаційного характеру, що вимагає значного фінансового, матеріально - технічного і кадрового забезпечення. У випадках необхідності виконання значних об'ємів послуг технічного сервісу завод-виробник спільно із дилером або незалежними спеціалізованими фірмами організують регіональні технічні центри. До функціонування регіональних технічних центрів безпосередньо або через підприємство-виробника повнокомплектної техніки притягуються виробники комплектуючих вузлів і агрегатів, а також підприємства суміжних галузей що освоїли виробництво, ремонт вузлів та агрегатів будівельних та дорожніх машин.

Без сумніву, система фірмового обслуговування повинна якнайшвидше зайняти достойне місце в системі технічного і обслуговування і ремонту будівельних машин, що склалася в нашій державі. Для цього, на першому етапі розвитку вітчизняного технічного сервісу першочерговим завданням має стати якнайшвидше створення та впровадження регіональних технічних центрів, як основних елементів регіональних підсистем фірмового обслуговування будівельних і дорожніх машин на території України.

Основними критеріями вибору місцерозташування і необхідних потужностей регіональних технічних центрів можуть слугувати: кількісний та структурний склад машинних парків, кількість і рівень матеріально-технічної оснащеності експлуатаційних підприємств, їх віддаленість, а також характеристики ринків будівельної і дорожньої техніки, запасних частин і послуг технічного та комерційного сервісу. При цьому, перелік послуг може змінюватися в широкому діапазоні: від матеріально-технічного забезпечення запасними частинами, вузлами, агрегатами (новими і капітально відремонтованими), - до проведення в технічному центрі діагностування, технічного обслуговування і ремонтів машин, інформаційного забезпечення, надання технічних консультацій, навчальних послуг персоналу тощо.

В системі фірмового обслуговування машин регіональні технічні центри зможуть ефективно взаємодіяти із експлуатаційними підприємствами, працюючи на загальну мету – кардинальне оновлення та трансформацію технічного сервісу, підвищення його якісного рівня, експлуатаційної надійності і ефективності використання будівельних машин, незалежно від форми власності та відомчої приналежності.

BASIC PRINCIPLES OF THE COMPANY MAINTENANCE SERVICE OF THE CONSTRUCTION MACHINES

Vitalii Lesko, Vitalii Sliusarenko

***Abstract.** In the current conditions of fierce competition in the market of machinery and equipment, a prerequisite for their successful existence is the creation of a comprehensive and well-organized maintenance network. However, the effective development of branded machine maintenance is possible only with the correct organization of the system as a whole, a rational combination of the principles of centralization and decentralization of management of a single technical policy of all its elements. In order to solve the general tasks in the system of branded service, all major divisions in the field of production and operation of equipment should be combined. The basis for solving these problems should be the creation of regional subsystems of branded services, which may include and carry out joint activities of enterprises-manufacturers of complete equipment and element (component) base, consumers of equipment, enterprises of the supply chain (dealers), technical centers, repair plants, operational bases of technical service, research and educational institutions and other departments. The central element of the system, which can directly unite and connect the spheres of production and operation of equipment, should be enterprises (technical centers), whose production activities should be aimed at implementing the tasks and functions inherent in the system of branded services. To do this, at the first stage of development of domestic technical service, the priority should be the creation and implementation of regional technical centers as the main elements of regional subsystems of branded maintenance of construction and road machinery in Ukraine.*

***Keywords:** technical service of construction machines; branded service; market of machines and services; dealer organizations; regional technical centers.*

УДК 624.01.001.5

Науковий підхід щодо визначення залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних конструкцій

Євгеній Клименко

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна.

Анотація. Залізобетонні конструкції є одними з найбільш поширеними в практиці будівництва. В ході експлуатації, а, особливо, під час бойових дій, залізобетонні конструкції зазнають пошкоджень. Постає питання щодо визначення напружено-деформованого стану та залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних конструкцій. Якщо зменшення поперечного перерізу арматури (через її корозію або обриви) можна прямо врахувати існуючими методами розрахунку, то руйнування частини поперечного бетонного перерізу не враховується в чинних нормах. В Одеській державній академії будівництва та архітектури проведено комплекс досліджень, в результаті яких розроблені методи розрахунку залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних (бетонних) конструкцій: стиснутих бетонних прямокутного поперечного перерізу; стиснутих залізобетонних елементів прямокутного та круглого поперечного перерізів, а також прямокутного перерізу елементів різної гнучкості; залізобетонних балок таврового (за нормальним перерізом) та прямокутного (за похилим перерізом) профілю. Розрахунки базуються на основних положеннях чинних норм та розширюють їх дію на випадок косоного позацентрального стиску чи косоного згину, що виникають в перерізі в результаті пошкодження.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, пошкодження, метод розрахунку, залишкова несуча здатність, стиснуті елементи, зігнуті балки.

В даний час залізобетон, як матеріал є та залишиться на перспективну одним із самих ефективних для виготовлення будівельних конструкцій. Це обумовлено рядом переваг його, а саме: високою міцністю (особливо на стиск); щільністю (водонепроникністю); зносостійкістю; довговічністю тощо. Разом з цим, бетон є, практично, місцевим будівельним матеріалом та має відносно невисоку ціну.

Під час виготовлення залізобетонні конструкції, як і усі інші, отримують дефекти (усадочні тріщини, сколи тощо), а в процесі експлуатації (або бойових дій) – пошкодження [1]. Приклади таких пошкоджень наведені на рис. 1.



Рис. 1. Пошкодження залізобетонних опор конструкцій

В ході проведених експериментальних та теоретичних досліджень досліджувався напружено-деформований стан та визначалася залишкова несуча здатність (рис. 2).

При створенні методу розрахунку залишкової несучої здатності бетонних стійок [2] приймалися наступні передумови:

- напруження в стиснутій зоні розподіляються рівномірно з інтенсивністю η_{fcd} ;
- приймається гіпотеза плоских перетинів;
- зовнішнє стискує зусилля докладено в центрі мас стиснутої зони бетону;
- робота розтягнутого бетону в сприйнятті зовнішніх зусиль не враховується;
- фронт пошкодження має прямолінійний обрис.

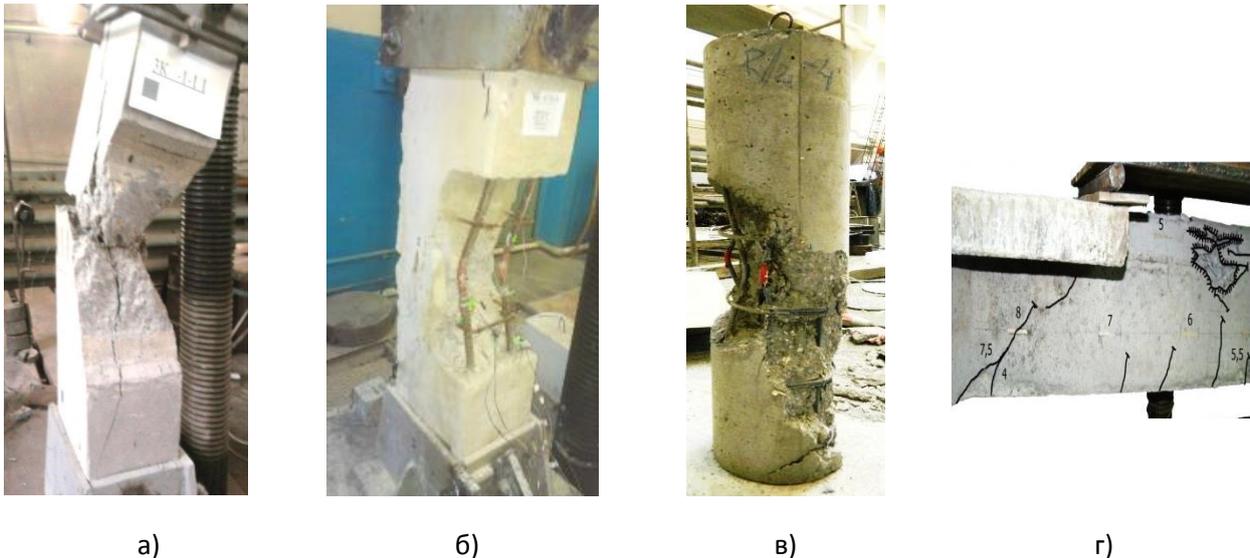


Рис. 2. Дослідні зразки після випробувань: а – бетонні стійки [2]; б – прямокутні колони [3, 5]; в – стиснуті елементи круглого профілю [4]; г – таврові балки [6]

Передумови розрахунку стиснутих залізобетонних колон [3, 4, 4, 5] мали вид:

- приймається гіпотеза плоских перетинів, тобто після деформування перетину залишаються плоскими, а по висоті перетину деформації змінюються за лінійною залежністю;
- опір бетону розтягу приймають рівним нулю, зусилля в розтягнутій зоні повністю сприймаються арматурою;
- опір бетону стисканню представляється напруженнями, рівними f_{cd} і рівномірно розподіленими по стиснутій зоні бетону;
- напруження в арматурі визначають залежно від висоти стиснутої зони бетону;
- розтягуючі напруження в арматурі приймають не більше ніж розрахунковий опір розтягу f_i ;
- стискаючі напруження в арматурі приймають не більше ніж розрахунковий опір стиску f_{yd} .

Система рівнянь рівноваги для стиснутого залізобетонного пошкодженого елемента буде мати наступний вид:

1. Рівняння рівноваги відносно осі x

$$N - f_{cd} \cdot A_c + \sum \sigma_{1-4} \cdot A_{1-4} = 0. \quad (1)$$

2. Рівняння суми моментів відносно осі x

$$N \cdot e - f_{cd} \cdot A_c \cdot x_c - \sigma_{1-2} \cdot A_{1-2} \cdot h_0 + \sigma_{3-4} \cdot A_{3-4} \cdot a' = 0. \quad (2)$$

3. Рівняння суми моментів відносно осі y

$$N \cdot \frac{b}{2} - \sigma_1 \cdot A_1 \cdot a' - \sigma_2 \cdot A_2 \cdot (b - a') + \sigma_3 \cdot A_3 \cdot a + \sigma_4 \cdot A_4 \cdot (b - a') - f_{cd} \cdot A_c \cdot y_c = 0. \quad (3)$$

4. Статичний момент відносно стиснутої зони бетону, вісь x

$$S_{x1} = A_1 y_1 - A_2 y_2. \quad (4)$$

5. Статичний момент відносно стиснутої зони бетону, вісь y

$$S_{y1} = A_1 x_1 - A_2 x_2. \quad (5)$$

Робота оголених стиснутих стержнів враховувалась шляхом зниження розрахункового опору в ньому (рис. 3).

При цьому Ейлерова сила буде рівною:

$$P_e = \frac{\pi^2 E I_{min}}{(\mu l)^2}, \quad (6)$$

де позначення є загальноприйнятими.

Граничні напруження, що виникають в поперечному перерізі оголеного арматурного стержня

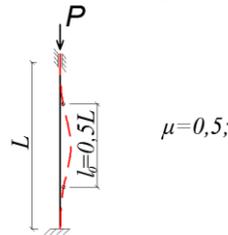


Рис. 3. Розрахункова схема оголеного стержня

при дії Ейлерової сили:

$$\sigma_e = \frac{P_{\text{доп}}}{A_s}; \quad (7)$$

$$P_{\text{доп}} = \frac{P_e}{[n_y]}, \quad (8)$$

де $[n_y]$ – нормативний коефіцієнт запасу стійкості. Для сталі він коливається у межах від 1,8 до 3.

Пошкодження позацентрово стиснутих колон у загальному випадку призводить до необхідності врахування впливів другого порядку, для точного оцінювання несучої здатності таких елементів.

У загальному випадку це можливо виконати наступним чином:

1. За допомогою нелінійної деформаційної моделі, шляхом розбивання елемента по довжині на певну кількість ділянок на кожній з яких визначається кривизна елемента, за якою, шляхом використання загальновідомих методів числового інтегрування визначається прогини у відповідних площинах. У загальному випадку кривизна буде описуватись просторовою лінією, а тому при визначенні прогинів необхідно використовувати проекцію кривизни на відповідний переріз, у якому планується визначення прогину. Такий метод є найбільш точним, але й найбільш складним, для його застосування необхідно використовувати спеціально розроблені програми. Він також дозволяє встановлювати несучу здатність таких елементів у випадку коли небезпечний переріз по довжині елемента наперед невідомий.

2. Шляхом використання інженерних методів. Інженерні методи дають можливість визначення додаткового прогину двома шляхами:

- через використання критичної сили;
- через кривизну найбільш небезпечного перерізу.

Окремі пошкодження позацентрово стиснутих елементів призводить до повороту нейтральної лінії в перерізі та зміни жорсткості перерізу по довжині елемента. Це потребує додаткового врахування зусиль з площини дії моменту та урахування зміни жорсткості по довжині елемента. Розглянемо окремо визначення впливу цих факторів.

Розглянемо визначення критичної сили з урахуванням зміни жорсткості внаслідок пошкодження колони. На рис. 4 показано розрахункову схему залізобетонної колони із пошкодженням у середині яке не призводить до повороту нейтральної лінії. Нехай, жорсткість колони непошкодженої частини D1, пошкодженої D2, при цьому $D1 > D2$. Така задача доволі просто вирішується за допомогою загально відомої теорії стійкості класичного опору матеріалів.

Варто зазначити, що автором навмисно обрано підхід врахування прогину окремо в кожній з площин, для інженерної методики. Оскільки в колонах реальних будівельних конструкцій розрахункова довжина колон в площині та з площини, як правило, має різні значення. Тому визначення критичної сили повернутого перерізу не дозволить точно встановити розрахункову довжину колони.

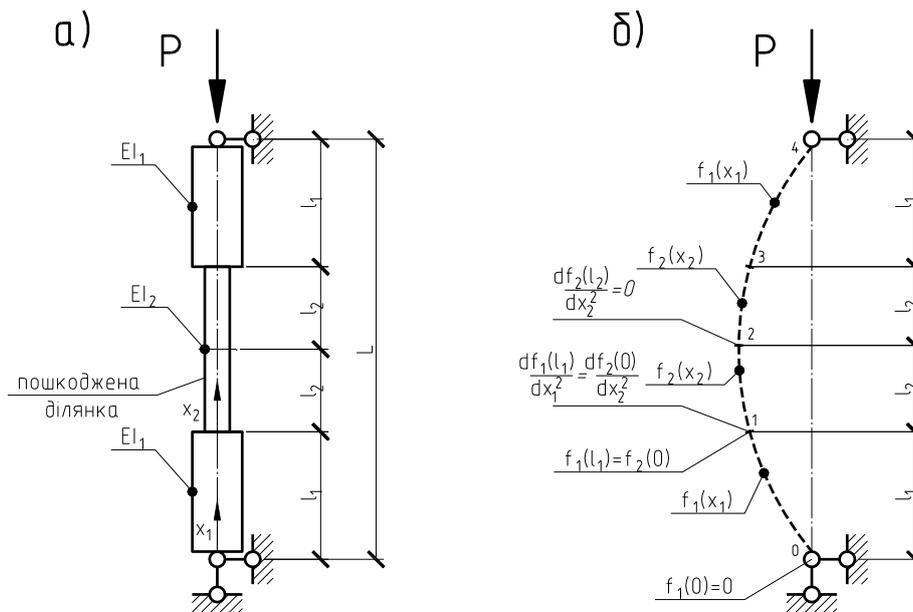


Рис. 4. До визначення критичної сили: а – розрахункова схема; б – граничні умови

Список літератури

1. Клименко С. В. Технічний стан будівель та споруд: монографія / С. В. Клименко – Одеса: ОДАБА, 2010 р. – 284 с.
2. Клименко Е.В., Мустафа Г.М. Поврежденные бетонные сжатые конструкции: работа, расчет / Одесса: Одесский нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2014. – 169 с.
3. Клименко Е. В., Крутько Т. А. Работа поврежденных железобетонных колонн: Монография / Одесса: Одеська держ. академія буд. та архітектури, 2014. – 137 с.
4. Klymenko Y., Orešković M. Damaged circular columns: research and calculation / University Nord, Korpivnica/Varaždin and Odessa state academy of civil engineering and architecture.2018, – S. 169.
5. Klymenko Y., Kos Z., Grynova I., Crnoja A. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph / Varaždin, Croatia, 2020. 179 p. ISBN 978-953-7986-17-9.
6. Klymenko Y., Ismael A.M. Capacity of Damaged reinforced concrete beams: Monograph / Odessa, OSACEA. 2017, – 162 p.

SCIENTIFIC APPROACH TO DETERMINING THE RESIDUAL BEARING CAPACITY OF DAMAGED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Yevhenii Klymenko

Abstract. Reinforced concrete structures are one of the most common in construction practice. During operation, and especially during hostilities, reinforced concrete structures are damaged. The question arises as to the determination of the stress-strain state and the residual bearing capacity of damaged reinforced concrete structures. If the reduction of the cross-section of the reinforcement (due to corrosion or breakage) can be directly taken into account by existing calculation methods, the destruction of part of the concrete cross-section is not taken into account in current regulations. The Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture conducted a set of studies, which resulted in methods for calculating the residual load-bearing capacity of damaged reinforced concrete (concrete) structures: compressed concrete rectangular cross-section; compressed reinforced concrete elements of rectangular and round cross-sections, as well as rectangular cross-section of elements of different flexibility; reinforced concrete beams T-shaped (normal section) and rectangular (inclined section) profile. Calculations are based on the main provisions of the current norms and extend their effect in the case of oblique out-of-center compression or oblique bending that occur in the cross section as a result of damage.

Keywords: reinforced concrete structures, damage, calculation method, residual bearing capacity, compressed elements, bent beams.

УДК 69.003

Будівельна біржа – система ефективного використання ресурсів

Сергій Охременко

директор ТОВ "Новобудова", Україна.

***Анотація.** Ефективне використання ресурсів можливо, згідно теореми Р. Коуза, при нульових трансакційних витратах – витратах на одержання необхідної інформації про ціни і якість товарів (послуг) та їх постачальників, на веденням переговорів, на укладенням угод, на контроль за їх виконанням і юридичним захистом прав власника. Такі витрати складають майже 75% від собівартості будівництва. Зниження цих витрат шляхом створення «проектного партнерства» надають можливість партнерам отримувати маржу з цієї знижки та створюють екстерналії. Тендери з «преференційними підрядниками» знижують початкову вартість на 25 %, але при відсутності регламентації усіх складників трансакцій надають ринкову владу їх організаторам або картелям для привласнення цієї маржі. Лише атрибути будівельної біржі (лістинг підрядників, котирування цін, кліринг, онлайн торги, експертиза та арбітраж) надають можливість суттєво знизити всі витрати, ризики, маржу усіх учасників будівництва та суспільства.*

***Ключові слова:** «трансакційні витрати»; «тендери»; «біржа»; «екстерналії».*

Ефективне використання ресурсів (людських, природних, енергетичних, фінансових тощо) – головна мета економічної системи та важливе завдання демократичного суспільства при відновленні та відбудові економіки України.

Згідно теореми Р. Коуза [1] «при нульових трансакційних витратах ринок справляється з будь-якими зовнішніми ефектами» та як наслідок, при цих умовах, ринок найбільш ефективно використовує обмежені ресурси. Трансакційні витрати – це витрати на одержання необхідної інформації про ціни і якість товарів (послуг) та їх постачальників, а також витрати, пов'язані з веденням переговорів, оформленням контрактів та укладенням угод, контролем за їх виконанням і юридичним захистом прав власника у разі їх порушення. Такі витрати складають у розвинутих країнах майже 50 % від собівартості товарів (послуг, робіт), а у тих, що розвиваються – 75% [2, с. 39]. Тому суттєве скорочення цих витрат, в ідеалі прагнення їх до нуля, у будівництві в Україні може створити передумови для ефективного використання усіх ресурсів та створення найбільш сприятливого клімату для інвестування.

З метою скорочення витрат на перемовин та укладання контрактів розробляються міжнародні та національні форми будівельних. Для цього Світовим банком та Міжнародною федерацією інженерів-консультантів (FIDIC) була розроблена спеціальна «Червона книга», з 5-ма видами контрактів на зведення об'єктів цивільного будівництва. Розроблені FIDIC типові форми охоплюють усі контрактні відносини у міжнародному будівництві. У Великій Британії успішно використовуються 10-ть типових форм контрактів на будівництво, що охоплюють всю сукупність відносин в інвестиційно-будівельній діяльності [3, с. 34]. В Україні раніше була спроба ввести типовий контракт на капітальне будівництво Постановою КМУ від 2005р. [4], але вона не отримала відповідного правозастосування тому, що менеджерам замовника необхідна невизначеність умов контрактів для її застосування для отримання ринкової влади та маржі в будівництві.

У будівельній галузі, згідно огляду тенденцій світового ринку будівельних послуг [3], трансакційні витрати (на пошук контрагентів, на перемовини та укладання угод) знижуються шляхом «проектного партнерства», сутність якого полягає у зобов'язання замовника забезпечити перевіреного підрядна роботою за ustalеними угодами та розцінками. Проектне партнерство суттєво знижує трансакційні витрати на пошук постачальника товарів (послуг) та укладання угод, але не надає можливість встановлення справедливої ціни на виконання замовлення. Встановлення цієї ціни – справа менеджерів сторін, яку вони, як правило, використовують у власних інтересах в збиток для компанії замовника та третіх осіб, що поза трансакцією (ефект екстерналії).

Іншою успішною формою стійких відносин замовника та підрядника є володіння статусом «преференційний підрядник», якому, на відміну від участі у проектному партнерстві, гарантовано лише участь у закритих тендерах, які проводяться замовником, а не отримання замовлення [3, с.

39]. Закриті тендери надають можливість скоротити витрати на пошук перевіреного підрядника, на укладання угод з переможцем тендера, на встановлення справедливих (збалансованих) цін. Ціна контракту під час проведення тендеру, як правило, перебуває у зворотній залежності від кількості offerentів. Наприклад, у будівельній галузі США зростання кількості учасників торгів із двох до восьми забезпечує зниження капіталовкладень замовника приблизно на 20-25%, а в країнах, що розвиваються, тендери охоплюють близько 80% сукупного обсягу підрядних робіт. [3, с. 40].

Проте тендери, при їх безумовній економічній привабливості, мають низку екстернальних ризиків – збитків сторін, які не приймають в ньому участь. Отже менеджери замовника зацікавлені в отриманні маржі (або неправомірній вигоди) в процесі проведення торгів та у виконанні контракту їх переможцем. Для цього вони можуть мати суттєві ринкові важелі, а саме:

1) підготовка та перевірка тендерної документації, при якій надаються преференції відповідним підрядникам;

2) проведення процедури торгів, при якій надаються преференції відповідному підряднику, або вони здійснюють картельну змову;

3) приймання товарів (робіт, послуг) здійснюється менеджерами замовника зі зниженими вимогами до «свого» підрядника та з підвищеними для іншого;

4) оплата товарів (робіт, послуг) та розв'язання можливих суперечок здійснюється менеджерами замовника зі зниженими вимогами до «свого» підрядника та з підвищеними для іншого.

Законодавство України регламентує використання 1) та 2) важеля, а система Прозоро забезпечує його дотримання, а от 3) та 4) важелі остаються поза увагою суспільства та не регламентуються і не забезпечуються. Тому система Прозоро лише прикриває перед суспільством картельні змови або змови менеджерів замовника та підрядника для підвищення та привласнення маржі.

Тендери з реалізації великих та/або довготривалих проєктів мають й велику невизначеність в їх вартості тому, що неможливо у ринковій економіці передбачити на перспективу ціни на товари (послуги та роботи). Тому підрядники у вартість цих проєктів закладають велику маржу для покриття цінових коливань, або в процесі реалізації проєктів домовляються з менеджерами замовника на її підвищення, що надає їм ринкової влади та спонукає до корупції. У зв'язку з цим на світовому ринку будівельних послуг найбільш поширеною формою контракту є частковий підряд на виконання певного виду робіт, або спорудження окремої ділянки об'єкта, що зводиться. Тобто великі проєкти поділяються на невеликі спеціалізовані підряди, до яких залучаються малі та середні підприємства, серед яких і організують тендери. Ці обставини та необхідність гнучкого та швидкого прийняття рішень в ринкових умовах спонукають до трансформації централізованої структури управління на мережеву. Але в мережі постає питання до якості робіт та послуг, навіть спеціалізованих, підрядників. Тобто виникає необхідність їх сертифікації та кваліфікації для участі у проєкті та/або тендері. А так як не існує конвенціональної системи їх кваліфікації, то цю процедуру здійснюють менеджери замовника або генпідрядника, що надає їм ринкові важелі та можливість до корупції.

У світовій практиці більшість питань з ефективною реалізацією будівельних проєктів, з урахуванням інтересів третіх осіб та суспільства (екстерналії) виконують кваліфікацію підрядників для тендеру сертифіковані FIDIC або національними агенціями інженери-консультанти. Але тоді ринкова влада у реалізації проєкту переходить до них з всіма її проблемами та людським фактором.

Таким чином, існуюча система фінансування та організації будівництва в Україні інституційно, на рівні реальних правил гри на ринку, має високі трансакційні витрати (75% собівартості) та високі комерційні та корупційні ризики, що не сприяє її розвитку та прямим інвестиціям в економіку України.

Оптимально і ефективно, з найменшими трансакційними витратами та ризиками тендери та виконання проєктів можуть проводитися на організованому будівельному ринку з використанням біржових механізмів – на будівельній біржі (далі Біржі).

Отже, основні біржові механізми та *функції* Біржі:

- 1) *надання гарантій* виконання зобов'язань учасниками торгів, насамперед, прийому товарів (послуг, робіт) за кількістю та якістю та його своєчасної оплати;
- 2) *врегулювання суперечок* між учасниками Біржі на основі стандартизованих контрактів та стандартів товарів (послуг, робіт) Біржі;
- 3) *встановлення стандартів* на біржові товари, роботи і послуги;
- 4) *встановлення правил* торгів та акредитації (сертифікації) їх учасників;
- 5) *розробка та реєстрація типових контрактів*;
- 6) *котирування* замовлень згідно відповідних сезону, регіону та терміну виконання;
- 7) *організація та проведення онлайн-торгів* відкритих для суспільства;
- 8) *організація інформування*, надання актуальної та достовірної ринкової інформації.

Біржа *гарантує* своїм підрядникам потік замовлень та *своєчасність їх оплат*, своїм замовникам – *якість товарів* (робіт, послуг) та їх справедливу ціну, а всім сторонам угод та суспільству – *мінімальні витрати та ризики* на всіх етапах життєвого циклу забудови.

Ця гарантія забезпечується всіма атрибутами Біржі, а саме:

- а) *лістингом* підрядників, який реалізується шляхом їх сертифікації та моніторинга їх робіт, що забезпечує якість їх робіт (послуг) та своєчасне виконання угод;
- б) *стандартами* якості будівельних робіт, послуг та товарів, процедур та контрактів, які приймає Біржа, що гарантують якість виконання контрактів та швидкий розгляд або запобігання суперечок;
- в) *котируванням* – складанням кошторисів проектів згідно нормативів, регіональних та сезонних цін та розцінок, спеціалізованими особами акредитованими Біржою;
- г) *маклеруванням* – *онлайн аукціонами* на знижки від кошторисів форвардних контрактів, що забезпечує отримання справедливих (збалансованих) для регіону, сезону та часу виконання невеликих проектів;
- д) *клірингом* – *своєчасними взаєморозрахунками* між сторонами угод, як фінансової гарантії їх виконання, що суттєво знижує комерційні та фінансові ризики, а тому й вартість проектів;
- е) *арбітражем* – третейським судом Біржі з вибором замовниками суддів та судових експертів Біржі з їх реєстру, затвердженому учасниками Біржі.

Основу надійності Біржі становить її *кліринговий центр*, як третя сторона усіх угод на Біржі, що забезпечує:

- приймання біржового товару (робіт, послуг) згідно стандартів їх якості;
- організацію та облік розрахунків між сторонами та своєчасну оплату рахунків;
- гарантію дотримання контрактних зобов'язань сторін.

Маркетинговою основою Біржі є її *брокери*, в завдання яких входить пошук, залучення та консалтингове обслуговування учасників торгів (замовників і підрядників), професійна участь в торгах за дорученням учасника торгів. Тобто брокери виконують частину функцій інженерів-консультантів у будівництві.

Обов'язковим додатком до договору підяду на Біржі є *страхові поліси* з страхування ризиків будівельно-монтажних робіт, будівельних матеріалів, машин та механізмів та професійної відповідальності усіх виконавців окремих видів робіт (послуг) на об'єкті будівництва на всіх етапах його життєвого циклу.

Всі правила, стандарти, процедури та розцінки на послуги Біржі *підконтрольні її органам самоврядування*. Так як учасники торгів є конкурентами, то корупція, порушення стандартів, процедур і правил Біржі не вигідні, насамперед, їм. А так як вони і їх брокери є професіоналами в торгах і це є їхнім бізнесом, то жодне порушення на Біржі не буде не помічено. Можливі недоліки правил та стандартів Біржі завжди можуть бути виправленими згідно інтересів членів Біржі та її регламенту. Тому, саме, біржові інститути (правила гри на ринку) забезпечують на Біржі гру з ненульовою сумою, де виграють усі її учасники та суспільство.

Ефект масштабу і професіоналізм співробітників, експертів та учасників, стандарти і правила Біржі та її система саморегулювання зможуть забезпечити не тільки гарантії якості та дотримання зобов'язань сторін, а й мінімальні витрати торгів (трансакційні витрати).

Мінімальні трансакційні витрати на Біржі забезпечуються шляхом мінімізації витрат в усіх її компонентах, а саме витрати:

1) на одержання необхідної *інформації* про *ціни і якість* товарів (послуг, робіт) мінімальні тому, що на Біржі діють відомі усім їх стандарти, а про постачальників тому, що вони проходять процедуру лістингу (верифікацію їх профілю та портфолію) та сертифікації їх досвіду та моніторинг їх діяльності, а ця інформація надається у відкритому доступі до їх реєстру на Біржі;

2) на ведення *переговорів* тому, що на Біржі діють усім відомі стандартизовані контракти та форми їх додатків, а перемовини щодо вартості замовлення ведуться шляхом онлайн-торгів;

3) на оформлення *контрактів* та укладення угод тому, що діють усім відомі стандартизовані контракти та форми їх додатків, які укладаються шляхом приєднання до них та онлан згоди на їх додатки;

4) на здійснення *ефективного контролю* за виконанням угод тому, що фахівці, які його здійснюють – інженери з авторського та технічного нагляду, інженери-консультанти, експлуатанти, що пройшли лістинг (перевірку компетентності), мають страховку своєї професійної відповідальності, несуть репутаційну відповідальність (згідно умов входження у реєстр відповідних фахівців), що надає їм можливість працювати, та тому що контроль здійснюється на усіх етапах життєвого циклу забудови;

5) на *юридичний захист* прав усіх сторін у разі порушення угод тому, що діють усім відомі стандартизовані контракти та стандарти якості товарів (послуг, робіт), що надає можливість до глибокої спеціалізації арбітрів третейського суду, рішення якого остаточні та оскарженню не підлягають, та тому, що експертів у суперечках обирає замовник з їх реєстру, склад якого щорічно затверджують дійсні члени Біржі.

Отже, переваги Біржі для всіх її членів та її система брокерів забезпечать велику кількість учасників торгів, а отже і *максимальну конкуренцію* – основу підвищення якості та встановлення справедливих (збалансованих) цін усіх угод, укладених на Біржі.

На Біржі *мінімальна маржа* в усіх угодах тому, що:

- маржа є предметом й метою *конкурентних* торгів (угода перепродається до ≈ 100 разів);
- *третья сторона* у всіх угодах є Біржа, завдання якої мінімізація витрат та ризиків сторін;
- правила, процедури, тарифи та с менеджерів Біржі *погоджують усі її члени*;
- у *відкритому доступі* уся інформація про діяльність Біржі, її менеджерів та членів.

На Біржі *мінімальна ринкова влада та корупція* її менеджерів тому, що Біржа – неприбутковий обслуговуючий кооператив, де всі його члени – учасники торгів: мають рівні права щодо управління ним, обирають та контролюють його менеджмент, погоджують його правила, процедури та тарифи, зацікавлені у мінімізації ринкової влади та корупції менеджерів Біржі.

Таким чином, Біржа має *суспільні та економічні переваги* Біржі, а саме:

1) *мінімальні*: трансакційні витрати, маржа усіх угод, ринкова влада та корупція менеджерів, витрати та ризики усіх сторін на усіх етапах життєвого циклу забудови;

2) *максимально сприятливі умови*: для усіх сторін «гри з не нульовою сумою», інвестування в економіку України, інновацій в бізнесі та будівництві.

Таким чином, Біржа з її системою атрибутів створює умови для мінімізації трансакційних витрат, витрат на усіх етапах життєвого циклу забудови, витрат та ризиків усіх учасників Біржі та суспільства. Тому Біржа створює систему умов для ефективного використання усіх ресурсів її членів, відповідних громад та країни.

Список літератури

1. Коуз Р. *The Firms, the Market and the Law*. Фирма, рынок и право. перевод. Ростислав Капелюшников. Москва: Новое издательство, 2007. 224 с.
2. Костин К.Б., Березовская А.А. *Трансфер технологий в цифровой экономике*. НАТТ. М.2020. 230 с. Режим доступа <http://ruschinapark.ru/wp-content/uploads/2021/12/2.2-transfer-tehnologii-v-cifrovoj-jekonomike.pdf> (дата звернення 15.05.22).
3. Бегадзе Г.Ш. *Особенности и направления трансформации мирового рынка строительных услуг*. Диссертация к.э.н. 08.00.14 «Мировая экономика». ГУУ. М. 2015. 195 с.

4. Постанова КМУ від 1 серпня 2005 р. N 668 Про затвердження Загальних умов укладення та виконання договорів підряду в капітальному будівництві. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/668-2005-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.05.22).

CONSTRUCTION EXCHANGE – A SYSTEM OF EFFICIENT USE OF RESOURCES

Sergey Okhremenko

Abstract. Efficient use of resources is possible, according to R. Coase's theorem, at zero transaction costs - the cost of obtaining the necessary information about prices and quality of goods (services) and their suppliers, negotiating, concluding agreements, monitoring their implementation and legal protection owner. Such costs are almost 75% of the cost of construction. Reducing these costs by creating a "project partnership" allows partners to margin on this discount and create externalities. Tenders with "preferred contractors" reduce the initial cost by 25%, but in the absence of regulation of all components of transactions give market power to their organizers or cartels to appropriate this margin. Only the attributes of the construction exchange (listing of contractors, price quotations, clearing, online bidding, expertise and arbitration) provide an opportunity to significantly reduce all costs, risks, margins of all participants in construction and society.

Keywords: "transaction costs"; "tenders"; "exchange"; "externalization".

УДК 539.3; 624.042

Аналіз працездатності залізобетонної оболонки АЕС в аварійному режимі при розвитку в бетоні деградаційних процесів (таких як ASR, DEF, різні види корозії тощо)

Володимир Крицький¹, Юрій Гензерський², Валерій Максименко³, Наталія Крицька⁴

1 – АТ «Київський науково-дослідний і проектно - конструкторський інститут «Енергопроект»» (АТ КІЕП), Київ, Україна,

2 – ТОВ «ЛІРА САПР», Київ, Україна,

3 – ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП ДНДІБВ), Київ, Україна,

4 – ДП «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДП ДНТЦ ЯРБ), Київ, Україна.

Анотація. Виявлення в останні роки в США деструкційних процесів в бетоні гідротехнічних споруд (гребель) і залізобетонних захисних оболонок (ЗО) – контейнерів – реакторних відділень (РО) АЕС обумовило велику зацікавленість і увагу до відповідних процесів, як до явищ/факторів, що здатні суттєво погіршити безпеку експлуатації відповідальних об'єктів, зокрема призвести до недотримання вимог з ядерної та радіаційної безпеки до експлуатації ядерних установок в умовах технологічних аварійних впливів і сейсмічних подій. Означене питання актуальне і для України, де функціонують (експлуатуються) 15 енергоблоків АЕС, а ще два енергоблоки вже тривалий час перебувають в стадії добудови.

Слід зазначити, що на даний час:

відсутні відомості про існуючі актуальні бази даних, які містять верифіковані дані про зміну механічних властивостей бетону залежно від розвитку в ньому деградаційних процесів певної природи, а також стадії розвитку (еволюції) означених процесів;

відомі на поточний час технології моніторингу технічного стану будівельних конструкцій (БК) не мають інструментальних засобів неруйнівного контролю БК, які дозволяють достовірно визначити належність бетону внутрішнього об'єму БК до деградованого стану, а тим більше коректно ідентифікувати межі зон деградації, фізико-хімічний механізм виникнення і прогресування деградації, стадію розвитку (еволюції) процесу деструкції матеріалу тощо.

Зважаючи на наявність вищезначеної проблеми – практичну відсутність інструментальних засобів і технологій виявлення і оцінки впливу внутрішніх масивів пошкодженого бетону на загальну працездатність БК групою фахівців – авторами статті – в рамках пошукового дослідження був

розроблений і апробований розрахунково-модельний підхід щодо визначення рівня втрати працездатності (несучої спроможності) досліджуваної конструкції у випадку і в умовах постульованої – найбільш імовірної і небезпечної конфігурації геометричних і фізико-хімічних параметрів, притаманних структурно пошкодженому бетону в зоні його локалізації в БК.

Вказаний підхід – формалізований як розрахунково-модельна технологія/процедура – передбачає реалізацію певного обчислювального алгоритму, опис і результати практичної апробації якого наведені в публікації.

Об'єктом дослідження за вказаною розрахунково-модельною технологією/технікою було обрано залізобетонну захисну оболонку блоку АЕС з реактором ВВЕР-1000/В-320.

Результати обчислювального дослідження, проведеного методом скінченних елементів та програмним забезпеченням «ЛІРА САПР», показали, що залежно від постульованого положення зони деградованого бетону, а також стадії розвитку (еволюції) процесу деградації в цій зоні, втрати несучої здатності будівлі – тобто зниження інтенсивності аварійних впливів, яким може протистояти (які може витримати) конструкція – може становити від 15 до 50% з відповідним погіршенням локалізуючої функції об'єкта.

За результатами аналізу результатів розрахунків розроблено рекомендації для оператора АЕС щодо врахування явища можливої деградації бетону при складанні періодичних звітів з аналізу безпеки блоків АЕС.

Ключові слова: бетон; будівельні конструкції; захисна оболонка АЕС; корозія; деградація; деструкція бетону; зона деградації; працездатність; несуча здатність; розрахунково-модельна технологія.

Виявлення в останні роки в США деструкційних процесів в бетоні гідротехнічних споруд (гребель) і залізобетонних захисних оболонок (ЗО) – контейнерів – реакторних відділень (РВ) АЕС [1] обумовило велику зацікавленість і увагу до відповідних процесів, як до явищ/факторів, що здатні суттєво погіршити безпеку експлуатації відповідальних об'єктів, зокрема призвести до недотримання вимог з ядерної та радіаційної безпеки до експлуатації ядерних установок в умовах технологічних аварійних впливів і сейсмічних подій. Означене питання актуальне і для України, де функціонують (експлуатуються) 15 енергоблоків АЕС, а ще два енергоблоки вже тривалий час перебувають в стадії добудови.

Фізико-хімічні особливості застосованого при виготовленні БК бетону (види цементу, домішок, заповнювачів, питоме співвідношення компонентів в бетонній суміші, прийняте водоцементного співвідношення тощо), умови бетонування і твердіння (зокрема, інтенсивність тепловиділення, можливість або обмеження температурного деформування, усадки тощо), вплив зовнішніх температуро-вологісних факторів та інших кліматичних та технологічних впливів здатні при певному сполученні стати передумовами виникнення і розвитку в бетоні таких процесів деструкції цементного каменю, як:

- реакція внутрішнього набухання (Internal Swelling Reactions – ISR);
- лужно-силікатна реакція (Alkali-Silica Reaction – ASR);
- відкладена формація еtringіту (Delayed Ettringite Formation – DEF);
- магнезіальна корозія;
- сульфатна корозія з участю таумаситу;
- вуглекисла корозія (корозія карбонізації) тощо.

Слід зазначити, що на даний час:

відсутні відомості про існуючі актуальні бази даних, які містять верифіковані дані про зміну механічних властивостей бетону залежно від розвитку в ньому деградаційних процесів певної природи, а також стадії розвитку (еволюції) означених процесів;

відомі на поточний час технології моніторингу технічного стану будівельних конструкцій (БК) не мають інструментальних засобів неруйнівного контролю БК, які дозволяють достовірно визначити належність бетону внутрішнього об'єму БК до деградованого стану, а тим більше коректно ідентифікувати межі зон деградації, фізико-хімічний механізм виникнення і прогресування деградації, стадію розвитку (еволюції) процесу деструкції матеріалу тощо.

В означених умовах, як уявляється, єдиним доступним засобом оцінки впливу очікуваних деструкційних процесів в бетоні на безпеку експлуатації будівельних конструкцій є постулювання наявності в БК певних зон деструкції бетону, який деградував за одним з вищезначених

механізмів, і оцінити вплив наявності цих зон на несучу спроможність досліджуваної БК.

Зважаючи на наявність вищезначеної проблеми – практичну відсутність інструментальних засобів і технологій виявлення і оцінки впливу внутрішніх масивів пошкодженого бетону на загальну працездатність БК групою фахівців – авторами цієї публікації – в рамках пошукового дослідження був розроблений і апробований розрахунково-модельний підхід щодо визначення рівня втрати працездатності (несучої спроможності) досліджуваної конструкції у випадку і в умовах постульованої – найбільш імовірної і небезпечної конфігурації геометричних і фізико-хімічних параметрів, притаманних структурно пошкодженому бетону в зоні його локалізації в БК.

Вказаний підхід – формалізований як розрахунково-модельна технологія/процедура – передбачає реалізацію наступного алгоритму:

- 1) постулювання в об'ємі БК зони/зон деградації (ЗД) з заданими (найбільш очікуваними/імовірними) положенням, габаритами (просторовою геометрією), механізмом деградації і стадією розвитку (еволюції) процесу деструкції;
- 2) розробка в програмному засобі (ПЗ), призначеному для механіко-міцнісних розрахунків БК методом скінчених елементів (МСЕ) – в нашому випадку ПЗ «ЛІРА САПР» [2] – МСЕ-моделі БК, зокрема, МСЕ-моделі постульованої в об'ємі БК зони деградації;
- 3) призначення фізико-механічних характеристик (ФМХ) для матеріалу основного («здорового») бетону БК і для матеріалу ЗД; для ЗД – характеристик, притаманних обраній для розгляду стадії (етапу) розвитку (еволюції) процесу деструкції;
- 4) виконання механіко-міцнісних розрахунків МСЕ-моделі і визначення дефіциту або запасу несучої спроможності БК для випадків призначення зоні деградації:
 - «4)-а» ФМХ основного («здорового») бетону БК;
 - «4)-б» ФМХ матеріалу ЗД, притаманних обраній для розгляду стадії (етапу) розвитку (еволюції) процесу деструкції
- 5) порівняння розрахованого запасу або дефіциту несучої спроможності БК для випадків «4)-а» і «4)-б» і складання висновку про вплив постульованої ЗД на несучу спроможність об'єкту для обраних до розгляду етапу експлуатації БК і еволюційного стану матеріалу ЗД.

На першому етапі впровадження – тестування – розробленого інструментарію/алгоритму було здійснено і презентовано застосування означеної розрахунково-модельної технології/процедури для прогнозування зміни несучої спроможності залізобетонної балки (див. Рис. 1), для якої було постульовано враження бетону конструкції внаслідок реалізації механізму деградації «сульфатна корозія» згідно [3-5] в певних зонах виробу (див. Рис. 3).

Для вказаної тестової конструкції було розроблено і застосовано залежність зміни опору бетону в зонах деградації залежно від часу розвитку (еволюції) процесу деструкції (див. Рис. 2).

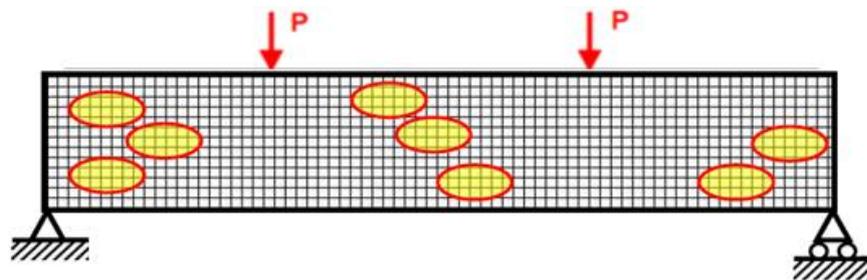


Рис. 1. Можливі варіанти локалізації постульованих зон деградації в тестовій конструкції «залізобетонна балка»

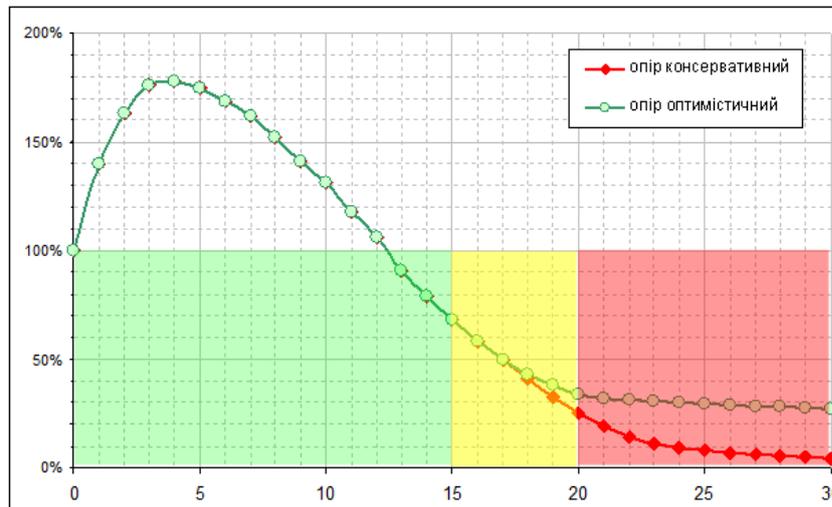


Рис. 2. Прийнята в дослідженні залежність (від кількості років експлуатації БК) зміни (зниження) механічних властивостей – опору (пружності, жорсткості, міцності) – ураженого бетону для випадку сульфатної корозії

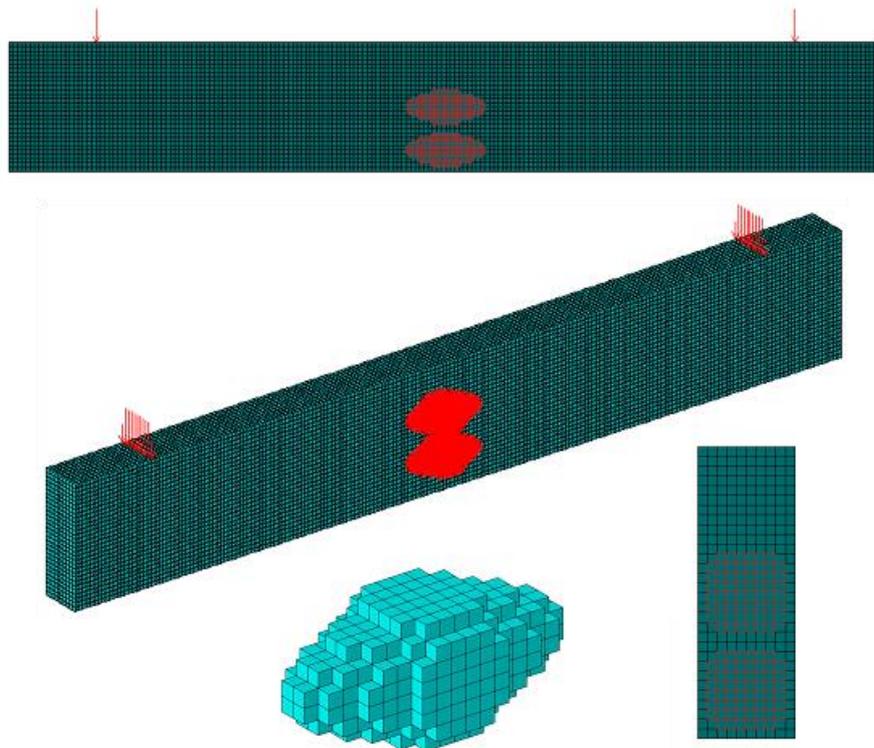


Рис. 3. Досліджена МСЕ-модель тестовій конструкції «залізобетонна балка», діюче на конструкцію навантаження, конфігурація і постульоване розрахункове положення потенційних зон деградації бетону

Наступним – таким, що розглядається – етапом (об’єктом) дослідження за вказаною розрахунково-модельною технологією/технікою було обрано залізобетонну захисну оболонку (контейнмент) реакторного відділення енергоблоку АЕС з реакторною установкою (РУ) ВВЕР-1000/В-302 – як найстарішої споруди означеного типу (призначення) в Україні (див. Рис. 4).

Для вказаної ЗО розташування постульованих зон деградації призначалось:

або в конфігурації просторових напівеліпсоїдів (повних еліпсоїдів – аналогічних до випадку тестової конструкції) в товщі стін циліндричної та купольної частин ЗО, які мають проекцію на внутрішню поверхню ЗО у вигляді «плями» з контуром еліпсоподібної конфігурації;

або в місцях виникнення в умовах технологічної аварії в РВ (із впливом внутрішнього надлишкового тиску $0.366 \div 0.405$ МПа ($3.61 \div 4.00$ атм)) і температури внутрішнього

параповітряного середовища 150°C) меридіональних деформацій і напружень згину (розтягу) в бетоні ЗО – у вигляді кільцевих зон висотою 4.00÷5.00 м по периметру (по контуру горизонтального перерізу) циліндричної частини ЗО; вибір означеної кільцевої форми ЗД обумовлений застосуванням при зведенні ЗО пошарового бетонування і ковзаючої опалубки з відповідною однорідністю властивостей бетонної суміші по всьому кільцю.

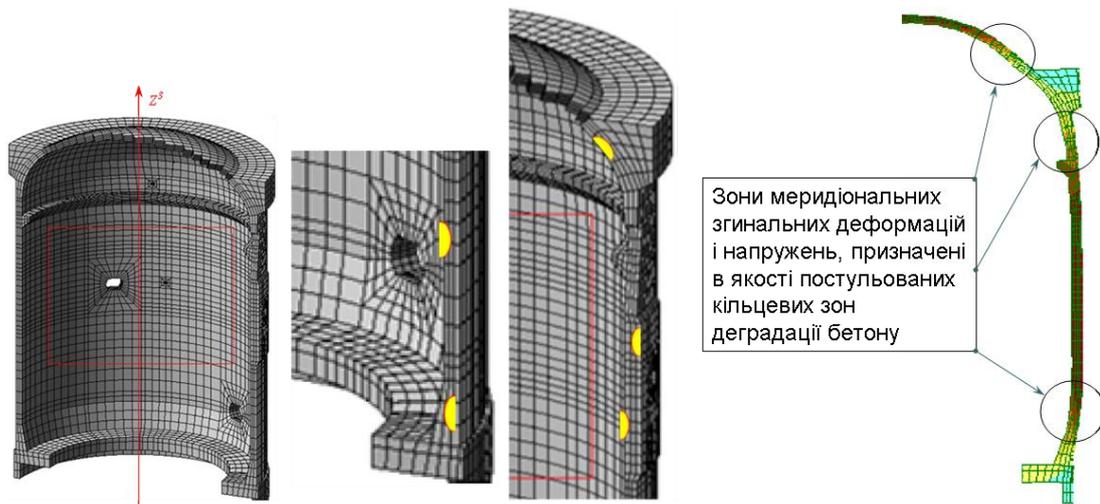


Рис. 4. Досліджена МСЕ-модель захисної оболонки (контайнмента) реакторного відділення енергоблоку АЕС, постульоване розрахункове положення точкових і кільцевих потенційних зон деградації бетону

Результати обчислювального дослідження споруди ЗО, виконаного з використанням МСЕ в інструментальному середовищі програмного засобу «ЛІРА САПР», показали, що залежно від постульованого положення зони деградованого бетону, а також стадії розвитку (еволюції) процесу деградації в цій зоні, втрата несучої здатності будівлі – тобто зниження інтенсивності аварійних впливів, яким може протистояти (які може витримати) конструкція – може становити від 15 до 50% з відповідним погіршенням локалізуючої функції об'єкта.

Визначення ступеню втрати несучої спроможності споруди, спричиненого розвитком змодельованих деградаційних явищ в бетоні, здійснювалось шляхом чисельної оцінки відносного зменшення площі стисненої зони бетону внаслідок руйнування при стисканні бетону, який втратив здатність до опору з причини розвитку в матеріалі деградаційного процесу.

Визначення ступеню втрати локалізуючої здатності (функції) споруди, внаслідок розвитку змодельованих деградаційних явищ в бетоні, здійснювалось шляхом чисельної оцінки відносного збільшення обсягу витoku з підоболонкового простору параповітряного аварійного радіоактивного середовища через шпарини розриву сталевого гермооблицювання, порівняно із обсягом витoku з-під ЗО повітряного середовища під час інтегральних випробувань захисної споруди на щільність.

За результатами аналізу результатів розрахунків розроблено рекомендації для компанії-оператора АЕС України щодо врахування явища можливої деградації бетону при складанні періодичних звітів з аналізу безпеки енергоблоків АЕС з РУ типу ВВЕР-1000.

Список літератури

- 1 Victor E. Saouma, Mohammad Amin Hariri-Ardebili. *Seismic capacity and fragility analysis of an ASR-affected nuclear containment vessel structure // Nuclear Engineering and Design.* – № 346 (2019), 2019. – pp. 140-156.
- 1 Программний комплекс ЛІРА-САПР®. Версія «ЛІРА САПР 2018». Паспорт програмного комплексу. – К.: ООО «ЛІРА САПР», 2018. – 13 с.
- 2 Москвин В.М. и др. *Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты.* – М.: «Стройиздат», 1980. – 536 с.
- 3 Иванов Ф.М. и др. *Долговечность железобетона в агрессивных средах.* – М.: «Стройиздат», 1990. – 320 с.
- 4 Бардах О.Ю. *Довговічність бетону в умовах дії сульфатних розчинів і температури // Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.* – Дніпро, 2021. – 23 с.

ANALYSIS THE WORKABILITY OF NPP REINFORCE CONCRETE CONTAINMENT IN ACCIDENTAL MODE UNDER THE DEVELOPMENT IN CONCRETE THE DEGRADATIVE PROCESSES (SUCH AS ASR, DEF, VARIOUS TYPES OF CORROSION ETC.)

Volodymyr Krytskyi, Iurii Genzerskyi, Valeryi Maksimenko, Nataliya Krytska

***Abstract.** The discovery in recent years in the United States of the destructive processes in concrete of hydraulic structures (dams) and reinforced concrete contaminants of reactor halls of NPPs has led to great interest and attention to relevant processes as phenomena/factors that can significantly impair operational safety of facilities, in particular to lead to non-compliance with the requirements of nuclear and radiation safety for the operation of nuclear installations under the event of technological emergencies as well as under seismic influences. This issue is also relevant for Ukraine, where there are 15 NPP units under operation, and also more two units during a long time are under construction.*

It should be noted that currently:

there is no information about the existing databases, which contain verified data on changes of the mechanical properties the concrete depending from the type of degradation processes, as well as the stage of development (evolution) of this processes;

known technologies for monitoring the technical state of building structures (BS) do not have tools for non-destructive testing of BS, which allow to reliably determine the belonging of the concrete of internal volume of BS to the degraded state and even more identify correctly the boundaries of degradation zones, the physical-chemical mechanism of occurrence and progression of degradation, the stage of development (evolution) of the process of the material destruction, etc.

Taking into account the above mentioned problem – the practical lack of tools and technologies to detect and assess the impact of internal massifs of damaged concrete on the overall serviceability of BS – the authors of article (in frames of the search study) have elaborated and approbated the calculative-model approach of determining of the degree of loss of serviceability (bearing capacity) of investigated structure for the case of the postulated conditions - the most probable and dangerous totality of geometric and physicochemical parameters inherent in structurally damaged concrete in the area of its localization in the BS. This approach – formalized as a computational-modeling technology/procedure – involves the implementation of a certain computational algorithm, the description and results of practical approbation of which are presented in the publication. The reinforced concrete containment of the NPP unit with the WWER-1000/ B-320 reactor was chosen as the object of research using the specified calculation and model technology/technique. The results of a computational study performed using finite element method and "LIRA SAPR" software showed that depending on the postulated position of the degraded concrete zone, as well as the stage of development (evolution) of the degradation process in this zone, the loss of bearing capacity of the building - i.e. decrease of the intensity of emergency effects to which the structure can to resist (which can to withstand) - may be stand from 15 to 50% with a corresponding deterioration of the localize function of the object. On the results of the analysis of the calculation results, recommendations were developed for the NPP operator to take into account the phenomenon of the possible concrete degradation when compiling of the periodic safety analysis reports of NPP units.

***Keywords:** concrete; building constructions; NPP containment; corrosion; degradation; destruction of concrete; degradation zone; workability; bearing capacity; calculation and model technology.*

УДК 539.3; 624.042

Динамічна поведінка вмісту контейнера для відпрацьованого ядерного палива при його аварійному падінні під час транспортно-технологічних операцій при передачі упаковки на довготривале зберігання

Євгенія Крицька¹, Володимир Крицький², Юрій Гензерський³

1 – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,

2 – АТ «Київський науково-дослідний і проектно - конструкторський інститут «Енергопроект»» (АТ КІЕП), Київ, Україна,

3 – ТОВ «ЛІРА САПР», Київ, Україна.

Анотація. *Забезпечення стабільної конфігурації відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) при здійсненні транспортно-технологічних операцій (ТТО) в процесі підготовці ВЯП до довготривалого зберігання є актуальною проблемою безпеки атомної енергетики.*

Згідно вимогам МАГАТЕ контейнера (упаковки) з ВЯП мають зберігати структурну цілісність і геометричну конфігурацію свого вмісту (ВЯП і внутрішньокорпусних пристроїв – ВКП), зокрема, при їх вільному аварійному падінні з висоти до 9 м на жорстку основу.

Результати огляду досліджень з безпеки по проблемі свідчать, що відповідні дослідження здебільшого були орієнтовані на вивчення механічної поведінки (достатньої міцності, збереження цілісності) при означеній аварійній події (падінні) саме зовнішньої оболонки контейнерів з ВЯП. При цьому аналіз зміни конфігурації вмісту контейнерів (ВЯП і ВКП) – фактору, що впливає на імовірність виникнення неконтрольованої ланцюгової ядерної реакції – в складі означених досліджень не здійснювався.

При виконанні авторами презентації розрахункового дослідження, орієнтованого на умови і потреби безпечного функціонування АЕС України, буде проаналізована динамічна поведінка (при падінні) вмісту контейнерів з ВЯП реакторних установок (РУ) типів РБМК-1000 (РУ Чорнобильської АЕС) і ВВЕР-1000 (РУ інших АЕС України).

Розрахункове дослідження сценарію аварійного падіння контейнерів передбачено виконати з застосуванням сполучення аналітичних підходів, методу скінчених елементів і алгоритму прямого динамічного аналізу, інструментально реалізованих на базі програмного засобу «ЛІРА САПР». Моделювання двох типів контейнерів (упаковок) з ВЯП, а також їх вмісту буде здійснено з урахуванням фактичних розмірів виробів, проектних механічних властивостей конструкційних матеріалів, взаємного розташування і з'єднання компонентів, внутрішнього тепловиділення тощо.

За результатами виконаних розрахункових досліджень мають бути надані висновки щодо ефективності існуючого проекту внутрішньокорпусних пристроїв, а також розроблені рекомендації щодо оптимізації означених ВКП для можливості надійного сприйняття ними динамічних впливів високої інтенсивності.

Ключові слова: *відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП); транспортно-технологічні операції; контейнер для ВЯП; зберігання ВЯП; аварійне падіння контейнеру з ВЯП; внутрішньокорпусні пристрої (ВКП); динамічна поведінка конструкції; метод скінчених елементів; метод прямого динамічного аналізу; програмний засіб.*

Забезпечення стабільної конфігурації відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) при здійсненні транспортно-технологічних операцій (ТТО) в процесі підготовці ВЯП до довготривалого зберігання є актуальною проблемою безпеки атомної енергетики.

Згідно вимогам МАГАТЕ і Держатомрегулювання України [1-2] контейнера (упаковки) з ВЯП мають зберігати структурну цілісність і геометричну конфігурацію свого вмісту (ВЯП і внутрішньокорпусних пристроїв – ВКП), зокрема, при їх вільному аварійному падінні з висоти до 9 м на жорстку основу. Вказана аварійна подія теоретично може відбутися внаслідок відмови вантажопідйомного обладнання під час ТТО або внаслідок катастрофи на транспорті в умовах несприятливої конфігурації (топографічного профілю, шляхових споруд тощо) автодорожнього шляху або залізничної колії (високий насип, міст, крутий поворот тощо).

Наразі в Україні прийнята до впровадження наступна технологія (етапність) підготовки ВЯП до довготривалого зберігання:

Етап 1. Вилучення відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ) з приреакторного басейну витримки (БВ) (або – для Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) – із сховища тимчасового зберігання

ВТВЗ) і переміщення їх в металевий багатоцільовий кошик (МБК) (або – для ЧАЕС – в чохол транспортний передатний – ЧТП);

Етап 2. Переміщення МБК (або ЧТП) до захисного транспортного контейнеру (ЗТК) і транспортного засобу (ТЗ);

Етап 3. Розміщення МБК (або ЧТП) в захисному транспортному контейнері та на транспортному засобі;

Етап 4. Пересування ТЗ з ТК, що містить МБК (або ЧТП), на об'єкт довготермінового зберігання ВЯП;

Етап 5. Вилучення МБК (або ЧТП) з ТЗ і ЗТК і встановлення їх в положення для подальших операцій;

Етап 6. Розміщення МБК в контейнері довготермінового зберігання (КДТЗ) або – для ЧАЕС – вилучення ВТВЗ з ЧТП і розміщення їх в двостінному екранованому пеналі (ДСЕП) – функціональному аналогу МБК;

Етап 7. Переміщення КДТЗ з МБК на майданчик довготермінового зберігання ВТВЗ або – для ЧАЕС – переміщення ДСЕП з ВЯП в бетонний модуль довготермінового зберігання ВЯП.

Певні особливості конструкції контейнерів (упаковок) для ВЯП/ВТВЗ і технології поводження (ТТО) з означеними контейнерами (упаковками) відображені на Рис. 1 ... Рис. 7 нижче.

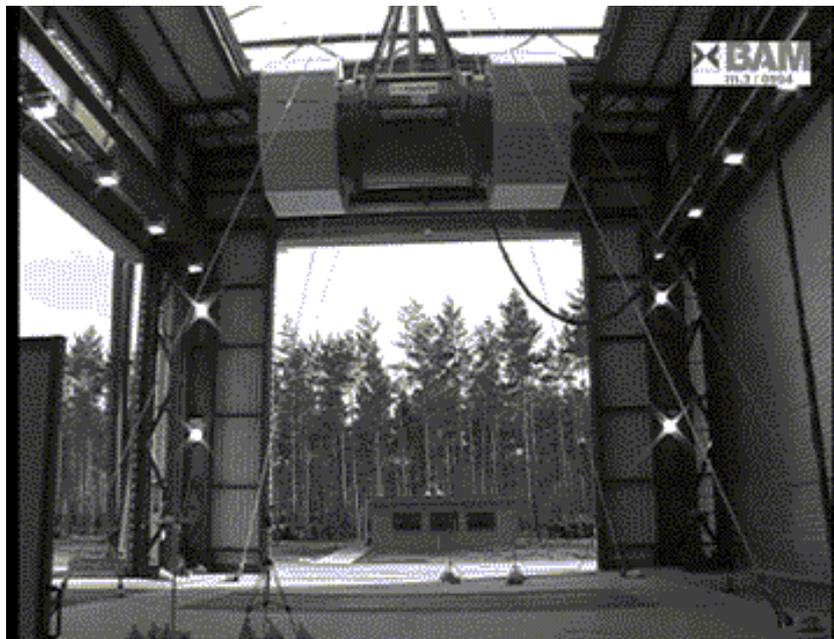


Рис. 1. Тест на падіння транспортувального контейнеру з висоти 9 м



Рис. 2. Встановлення захисного транспортного контейнеру (ЗТК) з ДСЕП – на рейковий

транспортер

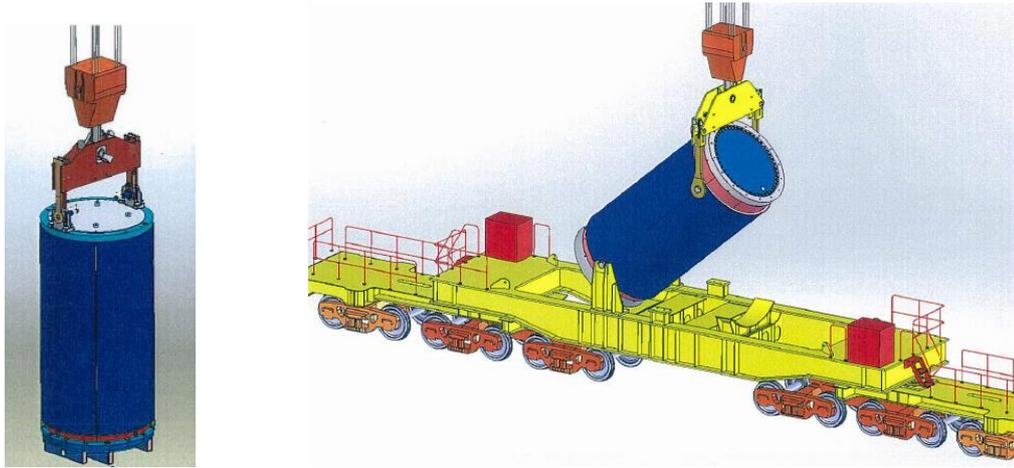


Рис. 3. Переміщення і встановлення захисного транспортного контейнеру (ЗТК) з МБК – на залізничну платформу

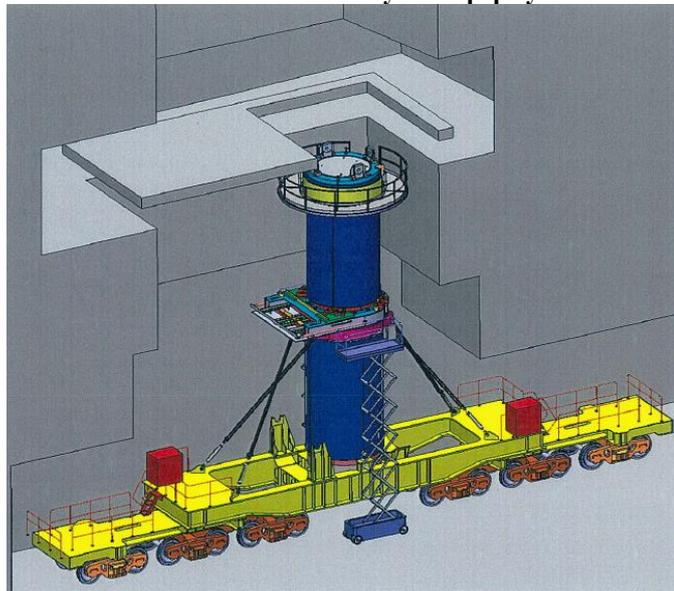


Рис. 4. Технологічна «піраміда» операції переміщення МБК з перевантажувального контейнеру в ЗТК

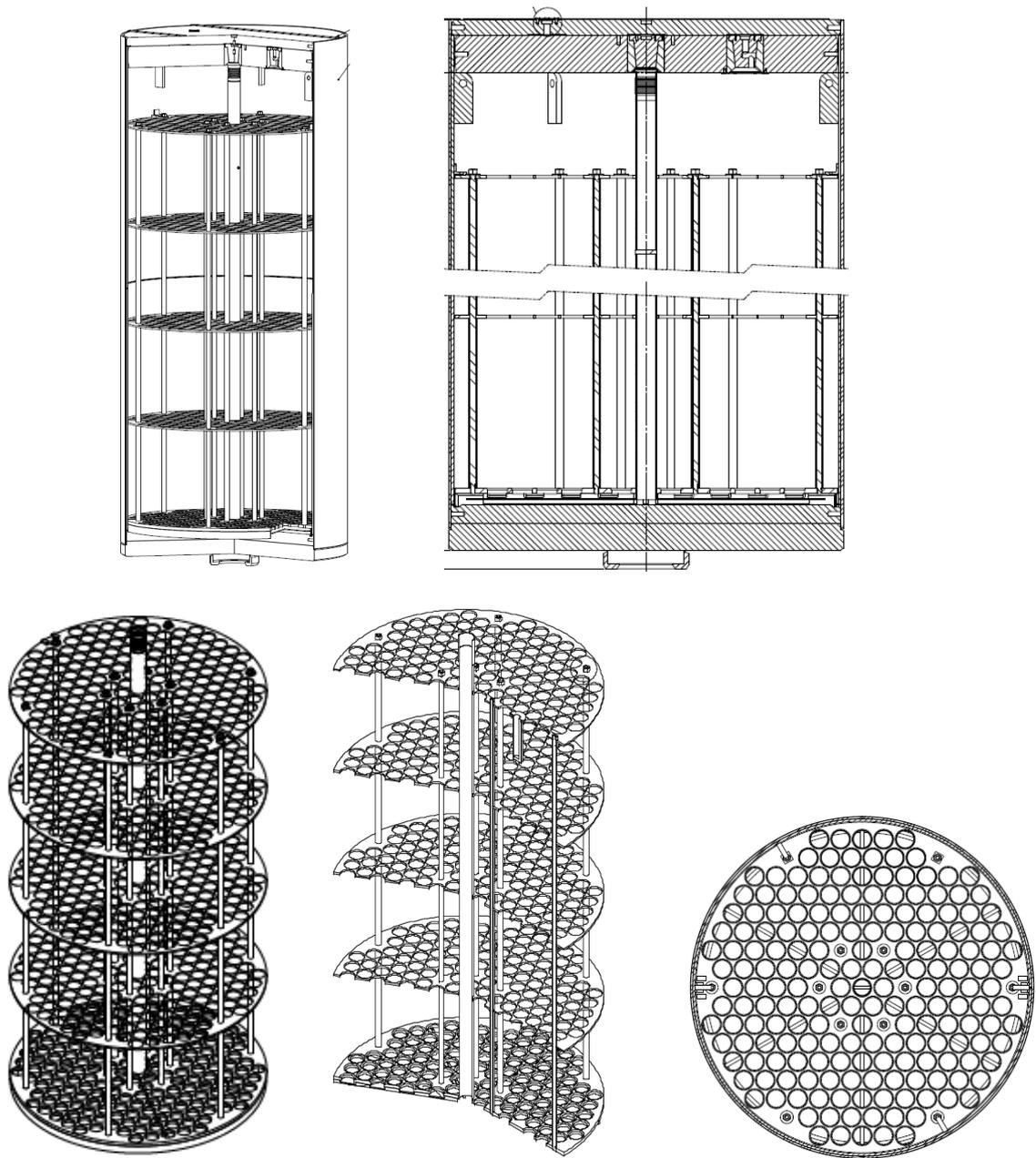


Рис. 5. Загальні конструктивні особливості ДСЕП: внутрішнє улаштування і осьовий розріз, ізометрія і план системи внутрішньокорпусних пристроїв ДСЕП



Рис. 6. Металевий багатоцільовий кошик (МБК) – загальний вигляд: зовнішня оболонка, внутрішньокорпусні пристрої, внутрішні і зовнішня захисні кришки

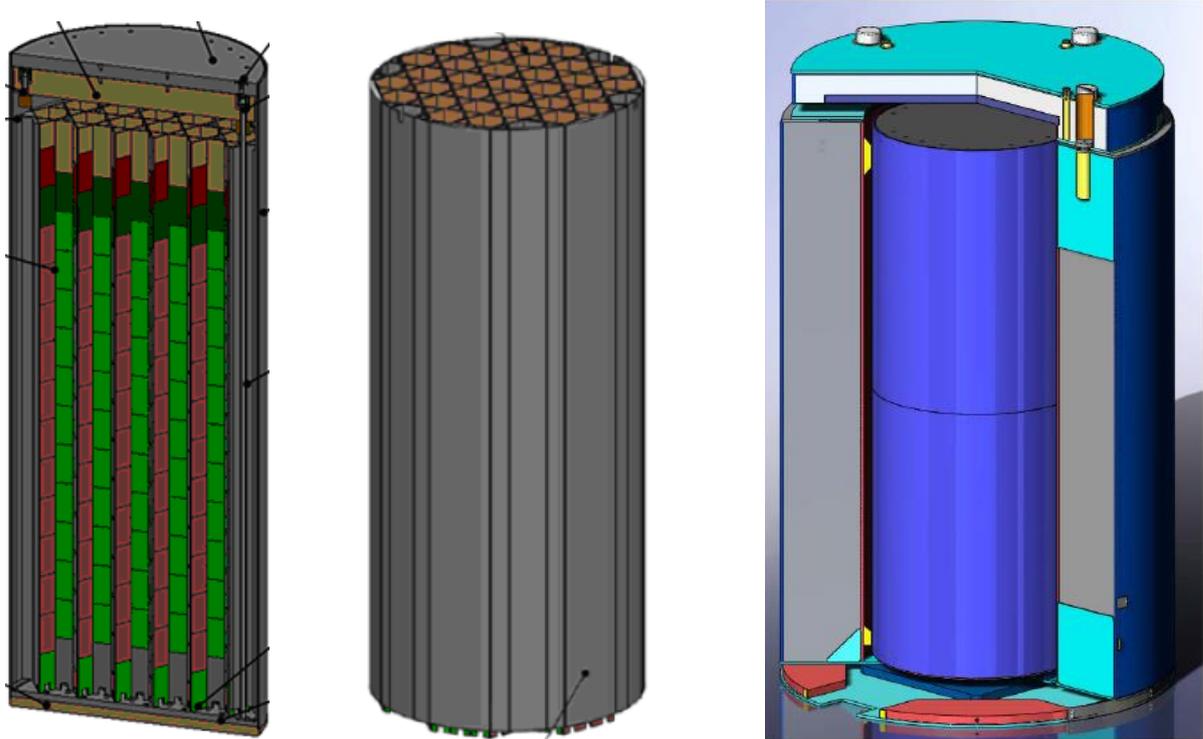


Рис. 7. Металевий багатошаровий кошик (МБК) з ВЯП –осьовий розріз, зовнішній вигляд, розміщення в контейнері для довготривалого зберігання

Результати огляду досліджень з безпеки по проблемі свідчать, що відповідні аналітичні заходи (випробування, чисельні розрахунки) здебільшого були орієнтовані на вивчення механічної поведінки (достатньої міцності, збереження цілісності) при означеній аварійній події (падінні) саме зовнішньої оболонки контейнерів з ВЯП. При цьому аналіз ступеню зміни конфігурації вмісту контейнерів (ВЯП і ВКП) – фактору, що впливає на імовірність виникнення неконтрольованої ланцюгової ядерної реакції – в складі означених досліджень не здійснювався.

При виконанні авторами презентації розрахункового дослідження, орієнтованого на умови і потреби безпечного функціонування АЕС України, буде проаналізована динамічна поведінка (при падінні) вмісту контейнерів з ВЯП реакторних установок (РУ) типів РБМК-1000 (РУ Чорнобильської АЕС) і ВВЕР-1000 (РУ інших АЕС України).

Розрахункове дослідження сценарію аварійного падіння контейнерів передбачено виконати за застосуванням сполучення аналітичних підходів, методу скінчених елементів і алгоритму прямого динамічного аналізу, інструментально реалізованих на базі програмного засобу «ЛІРА САПР». Моделювання двох типів контейнерів (упаковок) з ВЯП, а також їх вмісту буде здійснено з урахуванням фактичних розмірів виробів, проектних механічних властивостей конструкційних матеріалів, взаємного розташування і з'єднання компонентів, внутрішнього тепловиділення тощо.

За результатами виконаних розрахункових досліджень мають бути надані висновки щодо ефективності існуючого проекту внутрішньокорпусних пристроїв, а також розроблені рекомендації щодо оптимізації означених ВКП для можливості надійного сприйняття ними динамічних впливів високої інтенсивності.

Список літератури

- 1 НП 306.6.124-2006. *Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006).*
- 2 НП 306.4.213-2017 *Загальні положення безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення.*
- 3 Програмный комплекс ЛИРА-САПР®. Версия «ЛИРА САПР 2018». Паспорт программного комплекса. – К.: ООО «ЛИРА САПР», 2018. – 13 с.

THE DYNAMIC BEHAVIOR OF CONTENT THE CONTAINER FOR SPENT NUCLEAR FUEL UNDER ITS THE ACCIDENT FALLING DURING TRANSPORT-TECHNOLOGICAL OPERATIONS AT TRANSFER THE PACKING ON LONG TERM STORE

Yevheniia Krytska, Volodymyr Krytskyi, Iurii Genzerskyi

Abstract. *The ensuring the stable configuration of a spent nuclear fuel (SNF) in container at performing of transport-technological operations at prepare of spent fuel to long-term storage is one from urgent safety problem of nuclear energy. According to the IAEA requirements, the containers (pickings) for SNF have to maintain the structural integrity and geometric configuration of their contents (SNF and internal body devices - IBD), in particular, at a free fall from a height of 9 m on a rigid base. The results of the review of safety studies on the problem show that the relevant studies were mostly focused on the study of mechanical behavior (sufficient strength, saving of integrity) in the specified accident (fall) of the outer shell of SNF containers. At the same time, the analysis of changes the configuration of the content of containers (SNF and IBD) – the factor which affects on the probability of rise an uncontrolled nuclear chain reaction – was not performed as part of these studies. At performing by authors of presentation the calculation study which was accounted the conditions and needs of safe operation of Ukrainian NPPs, there will be analyzed the dynamic behavior (at falling) of contents the SNF containers of reactor units (RU) types RBMK-1000 (RU of Chernobyl NPP) and WWER-1000 (RU of other Ukrainian NPPs). The calculated study the scenario of the accident with fall the containers will be performed in using of combination the analytical approaches, finite element method and algorithm of direct dynamic analysis, which were instrumentally implemented on the basis of the software "LIRA SAPR". Modeling the structure of two types of SNF containers (packings), as well as their content will be performed in account the actual size of objects, of designed mechanical properties of structural materials, mutual location and connection of components, internal heat dissipation, etc. At the results of the calculated research, there will be provided conclusions on the effectiveness of the existing design of internal body devices, as well as recommendations for optimizing the above IBD to enable for them reliably perceive the dynamic influences of high intensity.*

Keywords: *spent nuclear fuel (SNF); transport-technological operations; SNF container; SNF storage; emergency fall of SNF container; internal body devices (IBD); dynamic behavior of structure; finite element method; method of direct dynamic analysis; software.*

УДК 621.791.01.670

Дослідження корозійно-механічної стійкості арматурних сталей, призначених для експлуатації в гідротехнічних спорудах

Валерій Макаренко¹, Олена Панченко¹, Юлія Макаренко²

1 - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

2 - Медичний університет «Манітобо», Вінніпег, Канада

Анотація. *Аналітичний огляд показав, що при тривалому терміні експлуатації залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд їх окремі елементи, наприклад арматурні стрижні, руйнуються внаслідок недостатньої втомно-корозійної міцності металу арматури. Вони виникають здебільшого під дією основних змінних навантажень – згину, коливань залізобетонних плит, механіко-ерозійних дій середовища. Основними причинами руйнування арматури є її розрив та знос унаслідок багаторазової дії силових факторів. Особливо інтенсивно руйнується поверхнева зона арматури в з'єднанні з бетоном унаслідок слабкої міцності зчеплення. Однією з причин руйнування з'єднань арматури з бетоном може бути також застосування низько міцних арматурних сталей. Підвищення корозійно-механічної надійності залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд можливо за рахунок використання для виготовлення арматурних стрижнів, які є основною силовою структурою залізобетону, економно модифікованих легованих сталей, які проходять складну термічну обробку і які характеризуються високими корозійно-втомними властивостями при роботі в агресивних середовищах при циклічних (знакозмінних) навантаженнях. Досліджена стійкість проти СКРН, ВІР і корозійно-механічної втомності арматурних сталей, призначених для будівельної промисловості. Встановлено, що дослідні сталі, економно модифіковані РЗЕ, міддю, нікелем, особливо хромом, ніобієм і ванадієм, задовольняють вимогам Міжнародного стандарту NACE MR 0175-96 по хімічному складу і механічним властивостям, а сталі*

марок 10ХСНДА і 20Ф не мають достатньо високого спротиву СКРН (граничні напруження $< 0.8 \cdot \sigma_{0.2min}$) і корозійно-втомному руйнуванню, причому сталі марок 20Ф і 06Г2Б показали низький спротив ВІР ($CLR > 6\%$ і $CTR > 3\%$). Отже, слід проводити повний (100%-й) вхідний контроль корозійно-механічної стійкості усіх матеріалів, які залучені до виготовлення залізобетонних конструкцій гідротехнічного призначення для експлуатації в сірководеньмісних середовищах.

Ключові слова: корозія руйнування; наводнення; тріщиностійкість; витривалість; втомлена міцність.

Відомо [1-3], що спротив металу втомному руйнуванню характеризується межею витривалості (втомленості), тобто це найбільше напруження, яке витримує метал без руйнування при будь-якій кількості циклів. Межу витривалості часто визначають при випробуваннях зі знакозмінним симетричним циклом ($R = -1$), а тому границю витривалості позначають через σ_{-1} .

Як правило, границю витривалості обмежують 10^7 циклами (цю кількість циклів називають базою випробувань). Таким чином, можна відмітити, що границя витривалості – це максимальне напруження циклу, яке витримує матеріал без руйнування при базовому числі циклів (для чорних металів ця база складає 10^7 циклів). Тоді по кривих втомленості можна знаходити такий важливий показник, як довговічність при втомленості, під якою приймають число циклів навантаження, яке витримує сталь при руйнуванні при певному напруженні [3, 4].

Із літератури [5] відомо, що границя витривалості в металі добре корелює з механічними властивостями металів. Так, величина σ_{-1} складає в середньому $(0.4 - 0.6)\sigma_B$ – для вуглецевих і легованих сталей; $(0.3 - 0.5)\sigma_B$ – для бронзи і латуні. Можна цю характеристику аналогічним чином порівняти з твердістю по Брінелю:

$\sigma_{-1} = (0.128 - 0.156)HB$ – для вуглецевих сталей; $\sigma_{-1} = (0.168 - 0.222)HB$ – для легованих сталей; $\sigma_{-1} = 0.19HB$ – для алюмінієвих сплавів.

Відомо із сучасної механіки руйнувань [3, 5], що зі збільшенням числа циклів при будь-яких напруженнях вище границі витривалості в металі послідовно протікають такі процеси: 1) пластична деформація; 2) зародження тріщин, осередками яких слугують неметалеві вклучення (НВ); 3) поступовий розвиток деяких з них з переважним розповсюдженням головної тріщини; 4) швидке кінцеве руйнування.

Процес втомленості починається з пластичної деформації поверхневих шарів металу арматури. Причому, переміщення дислокацій в умовах повторно-змінних навантажень спостерігається при навантаженнях нижче границі пружності металу. Швидкість локальної пластичної деформації при циклічному деформуванні на декілька порядків перевищує швидкість деформування при статичному навантаженні. Ковзання дислокацій починається в зернах із сприятливою орієнтацією поблизу концентраторів напружень. Зі збільшенням числа циклів в поверхневих шарах зростає щільність дислокацій і кількість вакансій. При досягненні базової кількості циклів N_R формується поверхневий зміцнений шар металу з великою кількістю зародкових тріщин, розмір яких не досягає критичного значення. Підвищення числа циклів не може спричинити подальший розвиток руйнування в такому шарі. Тільки коли напруження перевищують границю витривалості, тріщини досягають критичної довжини [3, 6], після чого починається процес їх зливу в магістральну тріщину з розповсюдженням останньої.

В якості модельних середовищ використовували середовище NACE (5% розчин NaCl, який містив 0,5% CH_3COOH і насичений H_2S ; $t = 22 \pm 2^\circ C$; $pH = 3,8 - 4,0$). Об'єктами досліджень були наступні сталі: 16Г2АФ; 20Ф; 15ХСНДА; 10ХСНДА; 09Г2ФБ; 06Г2Б і 08ХМЧА. Швидкість корозії визначали із застосуванням гравіметричного методу: термін випробування – 480 год. Зразки, вирізані безпосередньо з арматурних стрижнів діаметру 32 мм, випробували також на схильність до воднем ініційованого руйнування (ВІР) згідно Міжнародного стандарту NACE TM-02-90. На базі результатів вимірювань, розраховували коефіцієнти чутливості сталі до індукованому воднем руйнуванню за наступними формулами: коефіцієнт довжини тріщино утворення - $CLR = \frac{\sum a}{w} 100\%$; коефіцієнт ширини тріщино утворення - $CTR = \frac{\sum b}{T} 100\%$, де $\sum a$, $\sum b$ – сума відповідно поздовжніх і поперечних розмірів ділянок тріщино утворення, мм [7].

Схильність арматурних сталей до сульфідного корозійного руйнування під напруженням (СКРН) визначали згідно стандарту NACE TM 01-77(90) – метод А (на циліндричних зразках діаметром 6,4 мм), що дозволяла товщина перетину арматури. Випробували зразки на установці моделі «Інстрон» (Великобританія) під навантаженням.

Аналіз результатів вимірювання швидкості корозії зразків металу арматурних сталей в модельному середовищі NACE свідчить, що найбільш високою корозійною стійкістю в цьому середовищі характеризуються економно модифіковані ванадієм, ніобієм, хромом, нікелем і церієм сталі, зокрема 16Г2АФ, 09Г2ФБ, 15ХСНДА і 08ХМЧА, в меншій мірі протистоять корозії сталі марок 06Г2Б, 10ХСНДА і 20Ф (рис. 1).

Із аналізу схильності арматурних сталей до СКРН (рис. 2) видно, що найбільшим спротивом СКРН характеризуються сталі наступних марок 16Г2АФ, 09Г2ФБ, 15ХСНДА, 10ХСНДА. Дещо нижчим спротивом володіють сталі 20Ф, 08ХМЧА і 06Г2Б. Як в протистоянні процесу корозії, так і у випадку спротиву корозійним руйнуванням під напруженням (СКРН) спостерігається повна аналогія, тобто найбільшим спротивом СКРН характеризуються сталі, економно модифіковані ванадієм, ніобієм, церієм та іншими корисними елементами [4, 5]. Слід звернути увагу, що результати дослідження спротиву сталей СКРН добре корелюють з даними визначення гравіметричним методом швидкості корозії як в розчині NACE, так і в розчині NaCl.

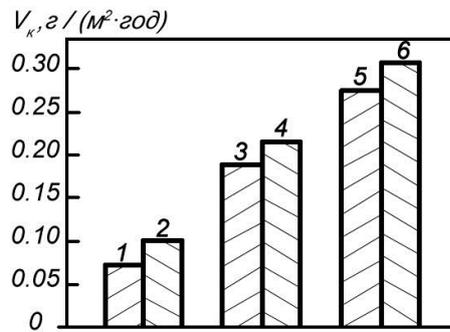


Рис. 1. Діаграма швидкості корозії зразків арматурних сталей в модельному середовищі NACE. Нумерація зразків і марок сталей: 1- 16Г2АФ; 2 – 09Г2ФБ; 3 – 15ХСНДА; 4 – 08ХМЧА; 5 – 06Г2Б; 6 – 10ХСНДА

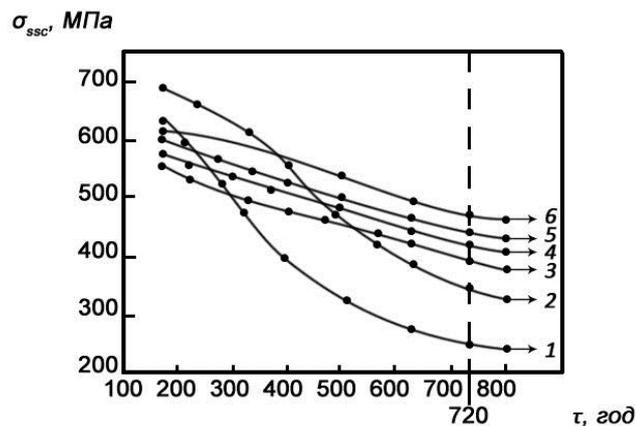


Рис. 2. Схильність до сульфідного корозійного руйнування під напруженням арматурних сталей при випробуваннях в модельних середовищах. Нумерація відповідає позначенню на рис.1

Таким чином, можна зробити узагальнення про те, що економно модифіковані сталі 16Г2АФ і 09Г2ФБ, які містять низькі концентрації шкідливих домішок сірки, фосфору та водню, характеризується високою стійкістю проти рівномірної корозії, в т. ч. і проти СКРН, а тому можуть бути рекомендована для використання у виробництві арматури для залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд.

Результати досліджень ВІР арматурної сталі (без прикладення навантаження) показали, що в розчині NACE здійснюється водневе розтріскування та поверхневе здуття деяких сталей марки

06ГГБ і 20Ф. Розрахункові значення показників водневого розтріскування ВІР для цих сталей складають: $CLR = 3,2 - 4,8 \%$; $CTR = 6,9 - 10,8 \%$. Встановлено, що сталі 16Г2АФ, 09Г2ФБ, 08ХМЧА, 15ХСНДА – відповідають вимогам Технічних умов.

Аналіз результатів випробувань корозійного руйнування зразків арматурних сталей в середовищі NACE дає можливість відмітити, що найбільшою стійкістю проти сульфідно-корозійного руйнування володіють арматурні сталі марок 16Г2АФ, 09Г2ФБ, 15ХСНДА. Інші марки 08ХМЧА, 06Г2Б, 10ХСНДА і 20Ф чинять менший спротив корозійному руйнуванню.

Досліджена стійкість проти СКРН, ВІР і корозійно-механічної втомності арматурних сталей призначених для будівельної промисловості. Встановлено, що дослідні сталі, економно модифіковані РЗЕ, міддю, нікелем, особливо хромом, ніобієм і ванадієм, задовольняють вимогам Міжнародного стандарту NACE MR 0175-96 по хімічному складу і механічним властивостям, а сталі марок 10ХСНДА і 20Ф не мають достатньо високого спротиву СКРН (граничні напруження $< 0,8 \cdot \sigma_{0,2min}$) і корозійно-втомному руйнуванню, причому сталі марок 20Ф і 06Г2Б показали низький спротив ВІР ($CLR > 6\%$ і $CTR > 3\%$).

Отже, слід проводити повний (100%-вий) вхідний контроль корозійно-механічної стійкості усіх матеріалів які залучені до виготовлення залізобетонних конструкцій гідротехнічного призначення для експлуатації в сірководеньвмісних середовищах.

Список літератури

1. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. Москва : Машиностроение, 1981. 272 с.
2. Арчаков Ю. И. Водородная коррозия стали. Москва : Металлургия, 1985. 192 с.
3. Петров Л. Н., Сопрунок Н. Г. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов. Киев : Наук. думка, 1991. 216 с.
4. Калачев Б. А. Водородная хрупкость металлов. Москва : Металлургия, 1985. 216 с.
5. Mathematical model of the mechanism of resistance of welded joints in oil and gas pipelines to static hydrogen fatigue / V. D. Makarenko et al. Welding International. 2000. Vol. 14, no. 4. P. 324–326.
6. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона методы их защиты. Москва : Стройиздат, 1980. 538 с.
7. Бойко А. В., Макаренко В. Д., Максимов С. Ю. Про деякі механічні характеристики конструкційних сталей охолоджуючих систем тривалої експлуатації. Проблеми міцності. 2021. № 2. С. 77–81.

INVESTIGATION OF CORROSION AND MECHANICAL RESISTANCE OF REINFORCEMENT STEELS INTENDED FOR OPERATION IN HYDRAULIC STRUCTURES

Valerii Makarenko, Olena Panchenko, Yulia Makarenko

Abstract. Analytical inspection showed that during the long service life of reinforced concrete structures of hydraulic structures, their individual elements such as reinforcing bars are destroyed due to insufficient fatigue and corrosion strength of the reinforcement metal. They occur mainly under the action of the main variable loads - bending, vibrations of reinforced concrete slabs, mechanical and erosional actions of the environment. The main reasons for the destruction of reinforcement are its rupture and wear due to repeated action of force factors. The surface area of the reinforcement in connection with concrete is particularly intense due to the weak strength of adhesion. The use of low-strength reinforcing steels can also be one of the reasons for the failure of reinforcement joints with concrete. Improving the corrosion and mechanical reliability of reinforced concrete structures of hydraulic structures is possible through the use of: for the manufacture of reinforcing bars which are the main power structure of reinforced concrete economically modified alloy steels, which undergo complex heat treatment and characterized by high corrosion and fatigue alternating) loads; The resistance against SCRN, VIR and corrosion-mechanical fatigue of reinforcing steels intended for the construction industry has been studied. It was found that the experimental steels, economically modified REE, copper-nickel, especially chromium niobium and vanadium meet the requirements of the International Standard NACE MR 0175-96 on chemical composition and mechanical properties, and steels grades 10HSNDA and 20F do not have high enough resistance SCRN (limits $< 0,8 \cdot \sigma_{0,2min}$) and corrosion-fatigue fracture, and steels of grades 20F and 06G2B showed low resistance to VIR ($CLR > 6\%$ and $CTR > 3\%$). Therefore, it is necessary to conduct a full (100%) input control of corrosion and mechanical resistance of all materials involved in the manufacture of reinforced concrete structures for hydraulic purposes for operation in hydrogen sulfide-containing media.

Keywords: corrosion destruction; flooding; crack resistance; endurance; fatigue strength.

УДК 693.556.41

Використання привантажувача при виготовленні тротуарної плитки з додаванням в бетонну суміш активних мінеральних домішок

Павло Горбач, Ігор Косминський

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. Розглянуто вплив зернового складу та активної мінеральної домішки (мікросилки) на властивості жорсткої бетонної суміші. Запропоновано один з способів виробництва бетонної бруківки з врахуванням технологічних режимів за технологією ущільнення з використанням привантажувача. Запропоноване раціональне дозування мікросилки, яке позитивно впливає на якість ущільнення.

Ключові слова: активна мінеральна домішка; вібрація; жорстка бетонна суміш; тротуарна плитка; привантажувач.

При виконанні ремонтних робіт по заміні тротуарного покриття все частіше використовують штучну тротуарну плитку, яка поступово заміщає асфальтобетонне покриття. Бетонна бруківка відрізняється довговічністю, надійністю, великою різноманітністю форм, розмірів, широким спектром кольорів і фактур. Вона є легкою у використанні, естетичною та відносно простою у виробництві.

Основним матеріалом для виготовлення тротуарної плитки звичайно є бетон. Оцінка якості при виборі вихідних матеріалів для бетону таких, як цемент, дрібний та великий заповнювачі, дрібно помолоті мінеральні та хімічні домішки є особливо важливим у технологічному процесі її виготовлення, яка впливає на умови експлуатації.

Дрібнопомелені домішки поділяють на активні техногенного характеру як мікросилка, шлаки та зола-унос, які володіють гідравлічною активністю, здатні вступати у взаємодію з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гідроксид кальцію), який є в цементі, утворюючи більш стійкі та міцні з'єднання [1,5].

Домішки які є не активними це насамперед: мелені кварцові піски та глини, дрібно помелені вапняки та інші. Цей вид домішок хімічно не взаємодіє зі складовими в'язучого, не володіє гідравлічною активністю та здатні надати бетонним сумішам пластичності та ущільнювати структуру бетону, що набуває твердості, що дозволяє зменшити витрату цементу [5].

Виготовлення тротуарної плитки здійснюється за наступними технологіями:

1. Віброформування з привантажувачем з жорстких бетонних сумішей, де ущільнення верхніх шарів суміші виконують з використанням привантажувального щита на верхній відкритій поверхні виробу, який формується, завдяки цьому значно зменшується час процесу;
2. Віброформування з рухомих сумішей з застосуванням пластифікуючих домок, де бетонна суміш укладається до форми, опісля ущільнюється за рахунок вібрування на віброплощині.
3. Вібропресування з жорсткої бетонної суміші з низьким водоцементним співвідношенням, яка на початку розміщується в прес-формі, потім ущільнюється у напрямку руху штемпеля вібропресу під тиском і вібрацією.

Обрання матеріалів для бетону визначає його склад, який має забезпечувати задані технічні властивості бетону, технологію виготовлення плитки і разом з тим економічні показники виробництва.

Для приготування бетонної суміші в якості вихідних елементів застосовували наступні: портландцемент ПЦ І-500Р-Н (СЕМ І R) ПрАТ «Івано-Франківськцемент»; заповнювачі-природний кварцовий пісок з $M_k = 2$, (ТУ У14.2-32960402-0012007); щебінь фракції 5 – 10 мм, (ДСТУБ.В.2.7-75-98); активну мінеральну добавку Elkem Microsilica® Grade 920 [2].

Витрата компонентів на 1 м^3 бетону склала: портландцемент – 375 кг; пісок -460,4 кг; щебінь – 1303,9 кг; вода -150 кг.

Задля вивчення властивостей бетонної суміші та готового бетону були приготовані жорсткі бетонні суміші. Задля необхідності дотримання технологічних режимів виготовлення тротуарної плитки за технологією вібропресування час ущільнення зразкового склу склав до 100 с при $V/D = 0,4$.

Також було враховано при підборі складу бетону зерновому вмісту з раціональним

співвідношенням заповнювачів у суміші.

Для відтворення процесу віброштампування виробів з жорстких сумішей було використано лабораторну віброплощадку з формою, привантажувач з площею навантаження 90 x 90 мм а також важки для моделювання навантаження на штамп. До форми уклали бетонну суміш в необхідній кількості, встановлювали металеву пластину та привантажувач масою 4,75 кг, таким чином здійснювали ущільнення.

Отже площа вібраційного штампа буде становити:

$$F = a \times b = 90 \times 90 \times 10^{-6} \text{ м}^2, \quad (1)$$

Для розрахунку питомого тиску вібраційного штампа на бетон жорсткістю від 50 до 200 с використаємо рівняння [3]:

$$P_{num} = \frac{V_3 \rho_b}{F} + 0,3 \text{ кПа} , \quad (2)$$

де: V_3 - об'єм занурення вібраційного штампа в бетон, ; ρ_b – середня щільність бетонної суміші .

Якщо припустити, що пластина вібраційного штампа максимально занурюється на глибину до 45 мм. Врешті середній питомий тиск вібраційного штампа повинен бути не менше ніж

$$P_{num} = \frac{4,5 \times 10^{-4} \times 10 \times \frac{2450}{0,0081} + 300}{1000} = 1,661 \text{ кПа} ,$$

Тоді загальна статична маса привантажувача складе:

$$P_{прив} = P_{num} \times F = \frac{1,661 \times 10^{-3} \times 0,0081}{10} = 1,35 \text{ кг} ,$$

Як показала практика та проведені досліди [1,3,6] найбільший показник міцності при стисненні на 28 добу є у бетонних зразків з оптимальним співвідношенням дрібного та великого заповнювача (50/50). Зменшення відсотку великого заповнювача призведе до незначного зниження міцності бетону.

Отримані результати можливо пояснити тим, що жорсткі суміші з низьким водо-цементним співвідношенням під дією зовнішніх сил доволі гарно ущільнюються і зменшують об'єм, який вони займають у пухкому стані на початку процесу ущільнення. Під час ущільнення бетонної суміші зерна великого заповнювача утворюють безперервний каркас та цементне тісто в суміші розподілено рівномірно, що призведе до збільшення щільності та міцності бетону.

Треба підкреслити, що бетон для тротуарної плитки повинен мати високу водонепроникність, міцність, морозостійкість, підвищену антикорозійну стійкість до хімічних агресивних середовищ і разом з тим забезпечувати стійкість до стирання. Перелічені ці показники якості бетону можна досягти шляхом введенням активних мінеральних домішок в кількості 5-15 % маси цементу.

Як зазначається в низці робіт основним чинником в механізмі дії активних мінеральних домішок є реакція взаємодії SiO_2 (діоксид кремнію) та $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гідроксид кальцію) з утворенням низькоосновних гідросилікатів CSH (I) [1,3,5].

Зміст діоксида кремнію SiO_2 в активних мінеральних домішках сприяє збільшенню кількості низькоосновних гідросилікатів CSH (I), відповідно збільшується міцність цементного каменю та бетону[4]. Збільшення дисперсності активних мінеральних домішок зменшує капілярну пористість цементного каменю та проникність бетону[1,3].

Якщо збільшувати долю активних мінеральних домішок спостерігається зростання ступеня гідратації в'язучого, покращується зчеплення цементного каменю з заповнювачем у бетоні, за рахунок переходу вапна до стабільних гідросилікатів, збільшується зміст низькоосновних гідросилікатів кальцію, що веде до збільшення міцності бетону до 70 МПа у порівнянні з контрольним складом (56 МПа). Подальше збільшення активних мінеральних домішок замість частини цементу призведе лише до незначного збільшення міцності бетону, так як відбувається природне зменшення в складі в'язучого мінералу.

Збільшення змісту низькоосновних гідросилікатів кальцію в бетоні з додаванням активних мінеральних домішок збільшує міцність бетону на 26 % у порівнянні з контрольними зразками[1,3]. Отже більша міцність складів бетону з додаванням активних мінеральних домішок обумовлена:

1. Збільшенням ступеня гідратації в'язучого та покращенням зчеплення цементного каменю з

заповнювачем в бетоні, за рахунок переходу вапна в стабільні силікати [1,3].

2. Збільшеною енергією активних мінеральних домішок, яка впливає на процеси структуроутворення, гідратції і в подальшому на структуру застиглого цементного каменю та бетону.

3. Структуроутворенням застигаючого бетону, який в підсумку взаємодії SiO_2 (діоксид кремнію) та $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гідроксид кальцію) цементу стає більш щільним.

Список літератури

1. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V. Influence of cement stone structure with silica fume and superplasticizer admixtures on concrete strength and permeability // Blended cements in construction - Structural Integrity Research Institute, University of Sheffield, UK, 1991, pp.317-328
2. Активні мінеральні домішки фірми Elkem. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cutt.ly/IG6oqkv>
3. Gaitero, J.J., Campillo, I., Guerrero, A.: Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. Cem. Concr. 2008. №38. pp. 1112–1118
4. Кузменков М.И. Куницкая Т.С. Вяжущие вещества технология производства изделий на их основе [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://cutt.ly/dG6oNqW>
5. Григорьева, П. В. Влияние тонкомолотых добавок на технологические свойства бетонных смесей [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://cutt.ly/OG6a7tM>
6. Alireza Mirza Goltabar Roshan, Mohammad Bagher Hosseinian, 2Hossein Khalilpasha and 1Reza Amirpour Optimization of Micro Silica in Light Weight Lika Concrete American J. of Engineering and Applied Sciences 3 (2): 449-453, 2010

USE OF DEVICE FOR FORMATION OF ADDITIONAL PRESSURE IN THE MANUFACTURE OF TWO-TILE TILES WITH ADDITION TO THE CONCRETE MIXTURE OF ACTIVE MINERAL IMPURITIES

Pavlo Gorbach, Ihor Kosminsky

***Abstract.** The influence of grain composition and active mineral additive on the properties of rigid concrete mix is considered. One of the methods of production of concrete pavement is proposed, taking into account the technological modes of compaction technology using a device for the formation of additional pressure on the concrete mixture. The rational dosing of active mineral additive which positively influences quality of consolidation is offered.*

***Keywords:** active mineral impurity; vibration; rigid concrete mix; concrete pavement; device for creating additional pressure on the concrete mixture.*

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF CONSTRUCTION AND
ARCHITECTURE
ACADEMY OF CONSTRUCTION OF UKRAINE**



**Conference proceedings
of
III International scientific-practical conference
«ENERGY-SAVING MACHINES AND
TECHNOLOGIES»
17-19.05.2022**

Kyiv 2022