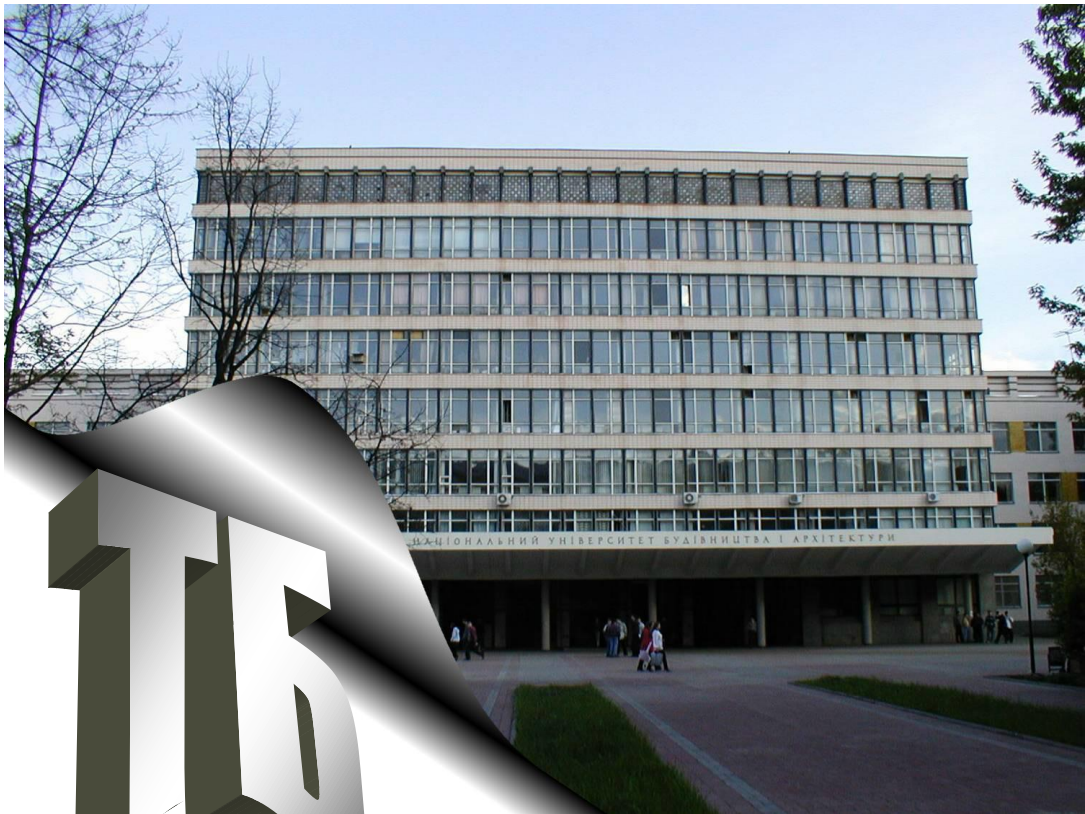


# Техніка Будівництва



**26, 2011**



# *Техніка Будівництва*



**Науково-технічний журнал**

**№26, 2011**

УДК 623.413:625.7:69.002

**ТЕХНІКА  
БУДІВНИЦТВА**

Науково-технічний журнал  
26 '2011

Видається з 1997р. двічі на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №1250 від 17.02.95 р.

**Засновники:** Академія будівництва України,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**Редакційна колегія:**

Назаренко І.І., д-р техн. наук (Головний редактор)  
Адріанов В.П.; Антонюк А.Є.; канд. техн. наук; Бойко І.П., д-р техн. наук;  
Барашиков А.Я., д-р техн. наук; Войтенко С.П., д-р техн. наук;  
Гончаренко Д.Ф., д-р техн. наук; Злобін Г.К., Баранов Ю.О. (відповідальний секретар);  
Кривенко П.В., д-р техн. наук; Лівінський О.М., д-р техн. наук;  
Ловейкін В.С., д-р техн. наук; Муляр Л.Х., канд. арх., Олійник О.Я., д-р техн. наук;  
Рунова Р.Ф., д-р техн. наук; Сівко В.Й., д-р техн. наук;  
Смірнов В.М., канд. техн. наук (затупник головного редактора);  
Сукач М.К., д-р техн. наук; Хмара Л.А., д-р техн. наук; Черненко В.К., д-р техн. наук;

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
Протокол № 58 від 29.10.2010 р.

Редактор Свідерський А.Т.  
Комп'ютерна верстка Басараб В.А.  
Коректор Крашевська Л.Г.

Мова видання: українська і російська

© Техніка будівництва, 2011

## ЗМІСТ

### Техніка для земляних та дорожніх робіт

Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М., Давиденко М.А. Імітаційне моделювання випадкових коливань на остов зтм від нерівностей транспортного шляху.....	4
Смірнов В.М., Головань В.П. Конструктивні особливості бурильного обладнання з роздільним обертанням складових різальної частини буру.....	9

### Машини і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

Назаренко І. І., Нестеренко М. П. Дослідження робочого режиму віброплощадки на завершальній стадії формування бетонного лотка.....	14
Пенчук В.О., Крикун Е.О. Выбор рациональных параметров конструкций пассивных распределителей сыпучих материалов.....	22
Дьомін Ю.М. Оцінка конструктивних та технологічних параметрів агрегатів для відновлення захисних покриттів магістральних трубопроводів.....	28

### Технологія і організація виробництва

Голубничий А.В. Цементи з залізозмісними шлаками для монолітних залізобетонних конструкцій високогір'я карпат.....	33
Нестеренко І.С. Основні чинники, які впливають на вартість землі.....	38
Ярас В.І., Ловейкін С.О. Метод відриву зі сколюванням, право на достовірність.....	42
Прилепський Ю.В., Грицук І. В., Рибалко І.Ф., Дорошко В. І., Адров Д.С. Автоматизація керування тепловими потоками в теплових накопичувачах двз будівельних машин.....	47

### Моделювання технологічних процесів

Луговський О.Ф., Берник І.М. Теоретичне обґрунтування доцільності використання ультразвукових кавітаційних технологій у технологічних процесах.....	52
Полтораченко Н.І. Нечітке відношення переваг альтернатив на початкових етапах проектування інженерних мереж .....	60
Клапченко В.І. Макроскопічна модель механічного руху.....	63



## Техніка для земляних та дорожніх робіт

УДК 620.1.052

Л.Є. Пелевін, к.т.н. професор,  
Г.М. Мачишин, асистент,  
М.А. Давиденко, аспірант (КНУБА, Київ).

### ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ОСТОВ ЗТМ ВІД НЕРІВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ШЛЯХУ

*АННОТАЦІЯ. В статті розглянуто моделювання режимів навантаження на колісну машину, що випробується, максимально наближених до реальних експлуатаційних за рахунок моделювання нерівностей дорожнього полотна для виявлення конструктивних недоліків машини.*

*АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрено моделирование режимов нагрузки на колесную машину, которая испытывается, максимально приближенных к реальным эксплуатационным за счет моделирования неравенств дорожного полотна для выявления конструктивных недостатков машины.*

*ANNOTATION. In this article the design of the modes of loading is considered on wheeled a machine which will be tested, maximally close to the real operating due to a design inequalities of traveling linen for the exposure of structural lacks of machine.*

**Вступ.** Розробка методів підтвердження працездатності вузлів будівельної техніки протягом необхідного строку експлуатації є актуальним завданням. Найбільш достовірним способом одержання інформації про безвідмовність як вузлів машин, так і самих машин є випробування їх в експлуатаційних умовах. У зв'язку з більшим строком експлуатації багатьох типів будівельної техніки проведення таких випробувань викликає великі витрати. Крім того, часто таке підтвердження необхідно зробити за час відпрацювання вузлів, що може бути в кілька разів менше необхідного строку експлуатації.

Для скорочення тривалості і числа випробувань на надійність застосовують прискорені методи, які в принципі дозволяють одержати інформацію про безвідмовність вузлів за більш короткий час.

Скорочення тривалості випробувань досягається за рахунок форсування навантажень, збільшення частоти навантаження при вібраційних випробуваннях, скорочення календарного строку при збереженні машинного часу випробувань, використанні методів прогнозувань і т.д.[1].

**Метою роботи** є моделювання режимів навантаження на машину, що випробується, максимально наближених до реальних експлуатаційних за рахунок моделювання нерівностей дорожнього полотна для виявлення конструктивних недоліків машини.

#### **Виклад основного матеріалу**

Проблема визначення навантажень в вузлах землерийної машини, що виникають під дією експлуатаційних навантажень, що носять випадковий характер, достатньо складна. Тому отримання практичних результатів завжди пов'язано з деякою ідеалізацією явища.

Для аналітичного визначення статистичних характеристик коливань навантаження у вузлах випробовуваної машини необхідно побудувати достовірну динамічну модель цієї машини.

Поведінка динамічної системи з декількома ступенями свободи описується системою диференціальних рівнянь другого порядку. У разі малих коливань ЗТМ ми маємо систему лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами. така система завжди може бути зведена до одного лінійного рівняння вищого порядку. Проте, при такому підході не

піддаються достатньо простому обліку наступні дві обставини. По-перше, для практичних задач звичайно представляє інтерес не одна відома функція, яка є рішенням рівняння, еквівалентного заданій системі, а декілька або всі випадкові функції, які створюють повне рішення системи. Для характеристики сукупності цих функцій необхідно визначити не тільки їх кореляційні функції (або спектральні щільності), але і взаємні кореляційні функції між ними. По-друге, в різні рівняння системи можуть входити різні випадкові навантаження.

При зведенні системи до одного рівняння ми одержимо в правій частині ту або іншу комбінацію цих навантажень та їх похідних, імовірнісні характеристики якої потрібно визначати по імовірнісним характеристикам вихідних випадкових навантажень. Тому доцільно звернутися до інших методів, які дозволяють одержувати рішення системи лінійних диференціальних рівнянь без зведення її до одного рівняння вищого порядку.

Диференціальні рівняння коливань звичайно складаємо за допомогою рівнянь Лагранжа II роду

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) = - \frac{d\Pi}{dq_i} - \frac{d\Phi}{dq_i} \quad (1)$$

де  $q_i$  – узагальнені координати системи;  $T$  – кінетична енергія системи;  $\Pi$  – потенційна енергія системи;  $\Phi$  – дисипативна енергія системи.

Так надалі можуть бути одержані диференціальні рівняння коливань динамічної системи. Досліджуємо поведінку динамічної системи на прикладі колісного транспортного засобу.

Розглянемо колісний трактор. Колеса базової машини характеризуються коефіцієнтами жорсткості  $C_1$  і  $C_2$  та коефіцієнтами в'язкого тертя  $\mathcal{D}_1$  і  $\mathcal{D}_2$ . Нерівності транспортного шляху, по якому переміщається базова машина, носять випадковий характер і можуть розглядатися як деякі випадкові функції  $q_1(t)$  – під передніми, колесами і  $q_2(t)$  – під задніми, які при русі машини здійснюють максимальний вплив на коливання остову.

Таким чином, на колісну ЗТМ, як на динамічну систему одночасно діють збуджуючі дії - випадкові функції дії від нерівностей профілю  $q_1(t)$  та  $q_2(t)$ . Вказані дії утворюють коливання машини.

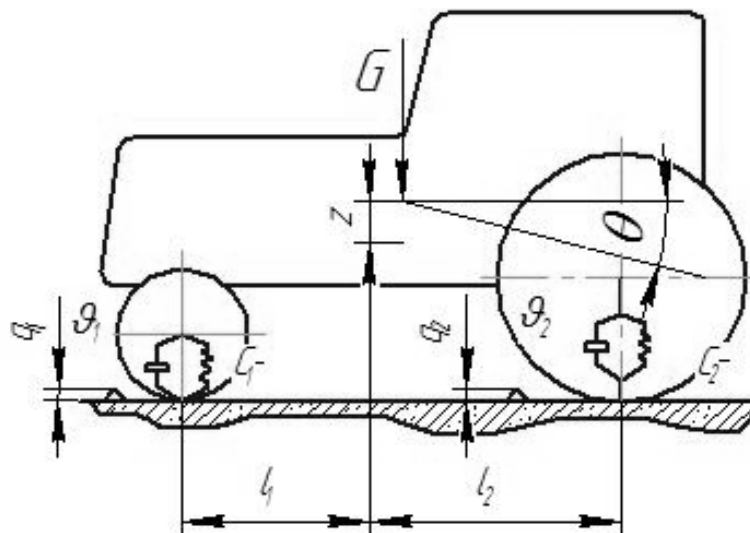


Рисунок 1. Фізична картина взаємодії колісної ЗТМ з ґрунтом.

ЗТМ на пневмоколісному ході в загальному випадку може розглядатися як коливальна система з багатьма ступенями свободи (рис.1). Положення робочого органу в просторі визначається величиною деформації пневматичних шин передньої та задньої осі, пружними деформаціями гідромеханізму підйому і деформаціями металоконструкції машини [2].

Розглянемо коливання машини в подовжній площині, які обумовлені пружністю пневматичних шин і підвіски робочого органу.



Вираз для кінетичної енергії

$$T = \frac{1}{2}m\dot{z}^2 + \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_p V^2, \quad (2)$$

де  $m$  - маса колісного ЗТМ,  $J$  - момент інерції,  $\theta$  - кут кутових коливань остову біля центру мас,  $m_p$  - маса навісного обладнання,  $V$  - швидкість переміщення навісного обладнання.

Кінетична енергія складається з кінетичної енергії вертикальних і повздожньо-кутових коливань остову.

$$V^2 = (\dot{z} + r_A \dot{\theta} \cos \theta_0)^2 + (r_A \dot{\theta} \sin \theta_0)^2 = \dot{z}^2 + r_A^2 \dot{\theta}^2 + 2r_A \dot{z} \dot{\theta} \cos \theta_0. \quad (3)$$

Таким чином, вираз для кінетичної енергії приймає вид

$$T = \frac{1}{2}m\dot{z}^2 + \frac{1}{2}J\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_p (\dot{z}^2 + r_A^2 \dot{\theta}^2 + 2r_A \dot{z} \dot{\theta} \cos \theta_0). \quad (4)$$

Потенційна енергія системи відносно положення статичної рівноваги

$$\Pi = \frac{1}{2}C_1(z - l_1\theta - q_1)^2 + \frac{1}{2}C_2(z + l_2\theta - q_2)^2 - C_1q_1\lambda_{CT1} - C_2q_2\lambda_{CT2}, \quad (5)$$

де  $\lambda_{CT1}$  і  $\lambda_{CT2}$  - статична деформація шин.

Функція розсіювання кінетичної енергії, або дисипативна функція

$$\Phi = \frac{1}{2}\mathcal{G}_1(\dot{z} - l_1\dot{\theta} - \dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2}\mathcal{G}_2(\dot{z} - l_2\dot{\theta} - \dot{q}_2)^2. \quad (6)$$

Після перетворень два останні вирази приймають вигляд

$$\Pi = \frac{1}{2}C_1(z^2 - 2zl_1\theta - 2zq_1 + l_1^2\theta^2 + 2l_1\theta q_1 + q_1^2) + \frac{1}{2}C_2(z^2 - 2zl_2\theta - 2zq_2 + l_2^2\theta^2 - 2l_2\theta q_2 + q_2^2) - \quad (7)$$

$$-C_1q_1\lambda_{CT1} - C_2q_2\lambda_{CT2};$$

$$\Phi = \frac{1}{2}\mathcal{G}_1(\dot{z}^2 - 2\dot{z}l_1\dot{\theta} - 2\dot{z}\dot{q}_1 + l_1^2\dot{\theta}^2 + 2l_1\dot{\theta}\dot{q}_1 + \dot{q}_1^2) + \frac{1}{2}\mathcal{G}_2(\dot{z}^2 + 2\dot{z}l_2\dot{\theta} - 2\dot{z}\dot{q}_2 + l_2^2\dot{\theta}^2 - 2l_2\dot{\theta}\dot{q}_2 + \dot{q}_2^2). \quad (8)$$

Одержані вирази підставляємо в рівняння Лагранжа II роду і після відповідних перетворень одержуємо лінійні диференціальні рівняння коливань системи

$$\ddot{z} + 2n_z\dot{z} + K_z z + A_1\ddot{\theta} + A_2\dot{\theta} + A_3\theta = A_5(C_1q_1 + C_2q_2 + \mathcal{G}_1\dot{q}_1 + \mathcal{G}_2\dot{q}_2); \quad (9)$$

$$\ddot{\theta} + 2n_\theta\dot{\theta} + K_\theta\theta + B_1\ddot{z} + B_2\dot{z} + B_3z = B_5(-C_1l_1q_1 + C_2l_2q_2 - \mathcal{G}_1l_1\dot{q}_1 + \mathcal{G}_2l_2\dot{q}_2); \quad (10)$$

$$\ddot{\psi} + 2n_\psi\dot{\psi} + K_\psi\psi + D_1\ddot{\theta} + D_2\dot{\theta} = 0. \quad (11)$$

Отже, при моделюванні на стенді навантажень на вузли машин, необхідно побудувати динамічну модель машини і розрахувати передаточні функції від точок, в яких збуджуються зовнішні дії до даного вузла.

З передаточних функцій одержимо амплітудно-фазові частотні характеристики коливальної системи до вертикального і кутового переміщення машини від нерівностей транспортного шляху

$$W_z(i\omega); W_\theta(i\omega).$$

Функції дії  $q(t)$ , які мають випадкову і періодичну складові, перетворюються лінійною системою, параметри якої в процесі коливань не змінюються, отже, на виході системи, тобто на вузлі машини, координати  $\theta$ ,  $z$ , є випадковими функціями.

Для визначення середніх квадратичних відхилень пружних переміщень та  $\sigma_\theta$  необхідно визначити дисперсії величин  $\theta$

$$D_\theta = D_{\theta(ПЕР)} + D_{\theta(ВИП)}, \quad (12)$$



де  $D_{\theta(\text{ПЕР})}$  – дисперсії періодичних стаціонарних величин та  $\theta$ ;  $D_{\theta(\text{ВИП})}$  – дисперсії випадкових складових величин.

Для визначення дисперсії  $D_{\theta(\text{ПЕР})}$  необхідно мати періодичні складові кутових переміщень  $\theta$  у вигляді ряду Фур'є

$$\bar{\theta}(t) = \frac{A_{0\theta}}{2} + \sum_{K=1}^{\infty} A_{K\theta} \cos K\omega_0 t + \sum_{K=1}^{\infty} B_{K\theta} \sin K\omega_0 t. \quad (13)$$

Вхідні в ці формули коефіцієнти Фур'є  $A_{0\theta}$ ,  $A_{K\theta}$ ,  $B_{K\theta}$  можна обчислити на основі ряду Фур'є для періодичної складової навантаження (моменту  $M_A$ ) і передаточних функцій  $W'_\theta(i\omega)$

$$A_{0\psi} = A_0(M_A)W'_\psi(0); \quad A_{0\theta} = A_0(M_A)W'_\theta(0);$$

аналогічно

$$A_{K\theta} = A_K(M_A)Re[W'_\theta(iK\omega_0)] + B_K(M_A)Im[W'_\theta(iK\omega_0)];$$

$$B_{K\theta} = B_K(M_A)Re[W'_\theta(iK\omega_0)] - A_K(M_A)Im[W'_\theta(iK\omega_0)];$$

де  $A_0(M_A)$ ,  $A_K(M_A)$ ,  $B_K(M_A)$  – коефіцієнти Фур'є для періодичної складової моменту  $M_A$ .

Маючи коефіцієнти Фур'є  $A_{K\theta}$ ,  $B_{K\theta}$  для періодичних складових кутових переміщень  $\theta$ , можна обчислити дисперсію періодичних складових

$$D_{\theta(\text{ПЕР})} = 0,5 \sum_{K=1}^{\infty} (A_{K\theta}^2 + B_{K\theta}^2).$$

Для визначення дисперсії  $D_{\theta(\text{ВИП})}$  необхідно мати спектральну щільність,  $S_\theta(\omega)$  випадкових складових кутових переміщень  $\theta$ .

Вказана спектральна щільність обчислюється на підставі спектральної густини навантаження (моменту  $M_A$ ) –  $S_M(\omega)$  і нерівностей поверхні  $S_q(\omega)$  при наявності передаточних функцій  $W_\theta(i\omega)$ ;  $W'_\theta(i\omega)$ .

$$S_\theta(\omega) = S_M(\omega) |W'_\theta(i\omega)|^2 + S_q(\omega) |W_\theta(i\omega)|^2,$$

де  $W(i\omega)$  – модуль функції  $W'(i\omega)$ .

Знаючи спектральну густину  $S_\theta(\omega)$  можна обчислити дисперсію випадкових складових

$$D_{\theta(\text{ВИП})} = \int_0^{\infty} S_\theta(\omega) d\omega.$$

За формулою (12) знаходимо загальну дисперсію  $D_\theta$ , відповідно середні квадратичні відхилення знаходимо з виразу

$$\sigma_\theta = \sqrt{D_\theta}. \quad (14)$$

Оскільки моделювання випадкової вхідної дії зв'язане із значними труднощами, велике практичне значення набуває питання про еквівалентну заміну при стендових випробуваннях випадкового навантаження простішими видами навантажень – постійної, гармонійної або полігармонійною [3].

Пропонується конструкція стенда (рис.2) для моделювання нерівностей дорожнього полотна, який працює наступним чином [4].

ЗТМ на колісному ході встановлюють колесами на нескінчену стрічку, яка містить в собі камери для повітря, фіксують від можливого горизонтального зміщення відносно стенду розтяжками.

Колеса ЗТМ приводять в рух нескінченну стрічку котра натягується опорними барабанами та натяжними роликками за допомогою натяжних барабанів. При русі стрічка проходить через механізм спускання, котрий спускає повітря повністю з камер для повітря далі стрічка проходить крізь механізм накачування котрий нагнітає необхідну кількість повітря в камери котрі моделюють нерівності  $q_1(t)$

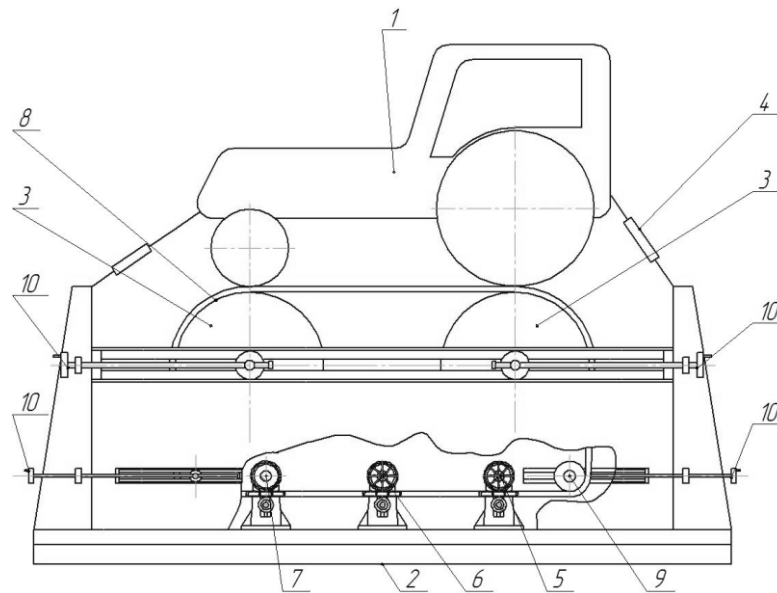


Рисунок 2. Стенд для моделювання нерівностей дорожнього полотна.

1-випробувальна машина; 2 - станина; 3 – опорні барабани; 4 – натяжники; 5 – механізм та спускання; 6 – механізм накачування; 7 – аналізатор; 8 – нескінчена стрічка з камерами для повітря; 9 – натяжні ролики; 10 – натяжні пристрої.

та  $q_2(t)$  дорожнього полотна. Аналізатор знімає дані про висоту нерівностей та передає інформацію оператору на пульт керування, для подальшого визначення похибки висоти нерівностей.

Таким чином можна зробити наступні висновки.

При експлуатації колісних ЗТМ на них діють збуджуючі сили від транспортного шляху.

Дія від нерівностей транспортного шляху є широкосмуговим випадковим процесом з переважанням низьких частот, причому ефективна ширина спектру пропорційна швидкості руху машини.

Детермінована складова є періодичною, а випадкова складова має статистичні характеристики, що періодично змінюються.

Застосування колісних машин з пневматичними шинами, пов'язано з коливаннями остову машини. Розглянуті коливання траншеєкопача в подовжній площині обумовлені пружністю пневматичних шин і нерівністю транспортного шляху.

Для дослідження динамічних навантажень дійсна конструкція замінена еквівалентною динамічною системою. Одержані вирази для передавальних функцій дозволяють перейти від характеристик вхідної дії до характеристик динамічних навантажень у вузлах машини, що дає можливість моделювати експлуатаційні навантаження при стендових випробуваннях вузлів машин.

### Література

1. Карташов Т.Д. Проблемы и перспективы ускоренных испытаний //Надежность и контроль качества, 1986, №8. – С.3-12.
2. Тарасов В.Н. Динамика системы управления рабочими процессами землеройно-транспортных машин. – Омск: Зап. – Сиб. кН.из-во, 1975. – 182с.
3. Пелевін Л.Є. Підвищення надійності і довговічності приводів динамічних робочих органів будівельної техніки на основі стендових випробувань: Монографія. – К.: Українська академія наук, "МП Леся", 2008.-196с.
4. Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М., Щербина Т.Ф. Механізм підживлення стисненим повітрям – рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель, заявка №U201000237 від 02.06.10

УДК 624.132

В.М.Смірнов, канд.техн.наук, професор КНУБА  
В.П. Головань, канд.техн.наук, доцент КНУБА

### КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ БУРИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З РОЗДІЛЬНИМ ОБЕРТАННЯМ СКЛАДОВИХ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ БУРУ

**АНОТАЦІЯ.** Наведена конструкція планетарного двохвального обертальника та конструктивна схема бурильного обладнання з роздільним обертанням внутрішньої та зовнішньої складових частин робочого органа. Це дає змогу збільшити швидкість обертання внутрішньої складової частини з розташованими на ній різцями на невеликій відстані від центра та підвищити ефективність процесу буріння. Дані рекомендації по вибору раціональних співвідношень діаметрів та швидкостей обертання складових частин робочого органа, методиці розрахунку планетарного обертальника з двома суwisними вихідними валами, вибору типів підшипників. Для виконання силових розрахунків даного бурильного обладнання приведена методика визначення крутних моментів. Нова конструкція бурильного обладнання дозволяє забезпечити більш рівномірне навантаження на різці, що працюють на різній відстані від центра робочого органа, підвищити їх стійкість і продуктивність буріння.

**Ключові слова:** різці, бур, планетарний обертальник.

**АННОТАЦИЯ.** Приведена конструкция планетарного двохвального вращателя и конструктивная схема бурильного оборудования с раздельным вращением внутренней и внешней составных частей рабочего органа. Это даст возможность увеличить скорость вращения внутренней составляющей части с расположенными на ней резцами на небольшом расстоянии от центра и повысит эффективность процесса бурения. Даны рекомендации по выбору рациональных соотношений диаметров и скоростей вращения составных частей рабочего органа, методики расчета планетарного вращателя с двумя соосными выходными валами, выбору типу подшипников. Для выполнения силовых расчетов данного бурильного оборудования приведена методика определения крутящих моментов. Новая конструкция бурильного оборудования позволяет обеспечить более равномерную нагрузку на резцы, которые работают на разном расстоянии от центра рабочего органа, повысит их стойкость и производительность бурения.

**Ключевые слова:** резцы, бур, планетарный вращатель.

**SUMMARY.** The brought construction over of planetary twin-shaft обертальника and structural chart of boring equipment with the separate rotation of internal and external component parts of worker of органа. It gives an opportunity to rev up appeal of component inside with the chisels located on her on small distance from a center and to promote efficiency of process of the boring drilling. These recommendations on the choice of rational correlations of diameters and velocities of circulation of component parts of worker of органа, to methodology of calculation of planetary обертальника with two суwisними by initial billows, to the choice of types of bearing. For implementation of power calculations of this boring equipment the brought methodology over of determination of крутних moments. The new construction of boring equipment allows to provide more even loading on chisels that work on different distance from a center working of органа, to promote their firmness and productivity of the boring drilling.

**keywords:** chisels, bore.

Підвищення ефективності роботи бурильного обладнання при бурінні свердловин під стовпчасті опори будівельних споруд в різних ґрунтах може бути досягнуто шляхом вдосконалення існуючих та розробки нових робочих органів, які забезпечують підвищення продуктивності буріння і стійкості різальних елементів.

При бурінні свердловин в міцних ґрунтах широко застосовується бурильне обладнання із шнековими робочими органами суцільного буріння. До основних недоліків таких робочих органів можна відносити нерівномірність розподілу швидкостей руху різців, на концентричних колах ліній різання розташованих на різних відстанях від центра. При однакових глибинах різання кожним різцем, яка визначається подачею бура при певній швидкості буріння, потужність між різцями розподіляється нерівномірно, що приводить до перевантаження окремих різців, а отже їх підвищеного спрацювання. Не достатня швидкість руху різців в центральній його частині приводить до їх заштибовки із-за малої швидкості транспортування із забою розбуреного ґрунту, що теж збільшує навантаження на

центральної різці, а отже підвищенню енергоємності буріння, а в деяких випадках приводить до їх поломки.

В проведених раніше дослідженнях [1] розроблені рекомендації по раціональній розстановці різців, яка забезпечує узгодження їх продуктивності за рахунок кількості на різних лініях різання. Швидкість осьової подачі при одночасному обертанні бура враховується установкою різців з різною висотою в межах кожної лопаті на даній лінії різання.

Одним із методів покращення розподілу потужності і продуктивності буріння між різцями, що розташовані на різних лініях різання, є підвищення швидкості обертання середньої частини робочого органу [2]. Тобто пропонується розділити робочий орган на дві частини – середню і зовнішню та надати їм обертання з різними кутовими швидкостями. В наслідок цього одержимо зменшення товщини зрізу кожним різцем, розташованим в середній частині робочого органу при даній загальній швидкості для обох частин вертикальної його подачі (заглиблення).

Кращий результат слід очікувати при використанні комбінованого способу регулювання розподілу навантажень між різцями - вибором кількості різців на лініях різання та збільшення швидкості обертання середньої частини робочого органу.

На основі попередніх досліджень розроблена принципіальна схема конструкції бурильного обладнання з розділним обертанням середньої та внутрішньої частини робочого органу [2]. Обладнання включає обертальник з планетарним механізмом, який забезпечує обертання складових частин робочого органу з різними швидкостями, для чого він обладнаний двома сувісними вихідними валами. Передача обертання на внутрішню та зовнішню складові частини робочого органу здійснюється через двохвальну сувісну бурову штангу із шнеком.

Можлива конструкція запропонованого бурильного обладнання подана на рис. 1 та рис. 2 а, б.

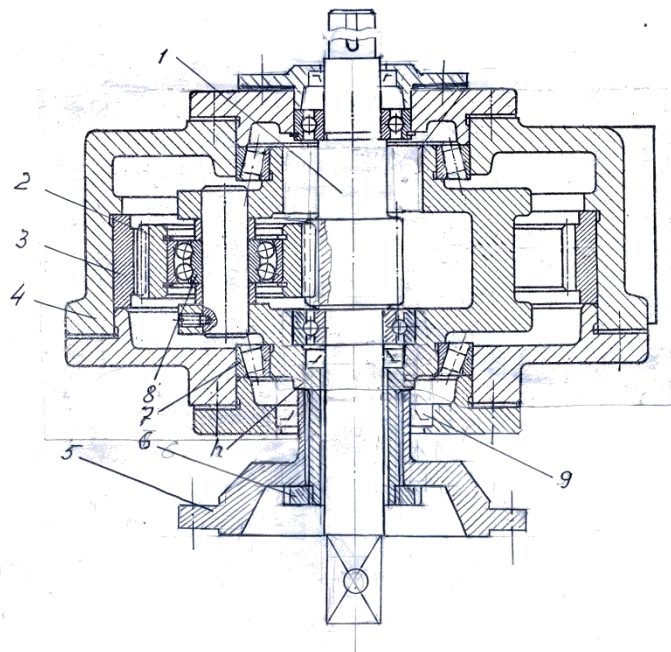


Рисунок 1. Конструктивна схема планетарного двохвального обертальника: 1 – центральний вал-шестерня; 2 – сателіти; 3 – нерухоме центральне колесо;  $h$  – водило; 4 – корпус; 5 – фланець вихідного вала; 6 – гайка; 7 – підшипник роликовий конічний; 8 – підшипник сферичний; 9 – ущільнення.

Планетарний обертальник (рис.1) включає вал шестерню 1, що передає обертання сателітам 2, установленим на осях водила  $h$ . Кількість сателітів в даному планетарному механізмі для зменшення навантаження на зубці коліс рекомендується приймати в кількості

3, 4. Для забезпечення динамічної зрівноваженості механізму їх установлюють під рівними кутами в одній площині.

Сателіти входять в зачеплення з нерухомим зубчастим колесом 3, що закріплене в корпусі обертальника 4. Оббігаючи по ньому, сателіти обертають водило  $h$ , яке через полий вал та закріплений на ньому фланець 5 передає обертання на зовнішній вал двохвальної сувісної бурової штанги 6 рис. 2 а, з'єднаної з зовнішньою складовою частиною робочого органу.

Внутрішній складовій частині 1 робочого органу передається обертання через внутрішній вал бурової штанги 6 (рис. 2) від центрального вала шестерні планетарного обертальника. Фланець 5 (рис.1), до якого кріпиться бурова штанга, посаджений і закріплений до нього гайкою 6.

Для забезпечення можливості сприймати осьове навантаження від бурової штанги і робочого органу, водило  $h$  з полим вихідним валом кріпиться в корпусі обертальника через конічні роликопідшипники 7.

Для самоцентрування сателітів відносно центральної ведучої шестерні вони кріпляться на осях водила через сферичні самовстановлювальні підшипники 8. Для захисту від попадання бруду та витікання мастила між кришками підшипників і валами установлюють ущільнення 9.

Корпус зовнішньої складової частини робочого органу до якого кріпляться лопаті (рис. 2а) може бути виготовлений у вигляді фланця, що з'єднується з зовнішнім валом бурової штанги і має центральний отвір для внутрішнього вала, до якого закріплюється внутрішня складова частина робочого органу.

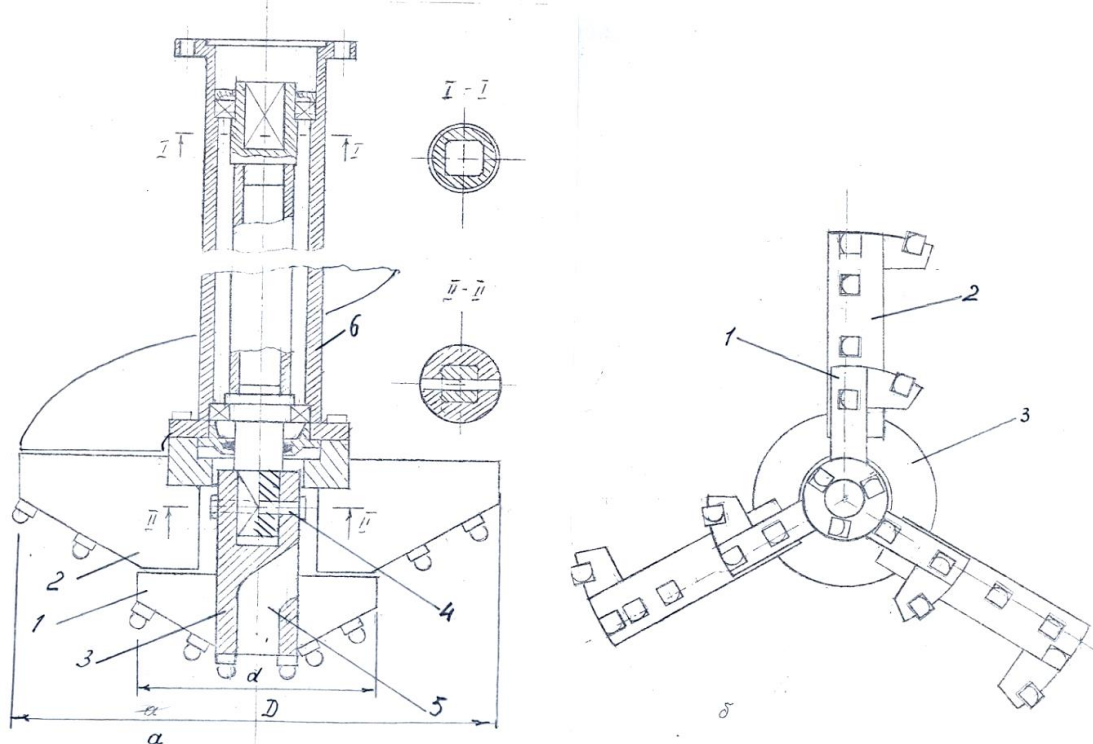


Рисунок 2. Конструктивна схема бурильного обладнання з роздільним обертанням; а – бур зі штангою; б – схема розстановки різців.

Лопаті внутрішньої складової частини робочого органу 1, кріпляться до забурника 3, в верхній частині якого є квадратний отвір для з'єднання з внутрішнім валом двохвальної бурової штанги. В осьовому напрямку з'єднання фіксується пальцем 4, що вставляється в передбачені для цього поперечні отвори. В нижній частині забурник обладнаний



кернозломником 5, що сприяє зменшенню опору буріння в середній частині робочого органу.

Кожна складова частина робочого органу з роздільним обертанням, включає лопаті з різцями і має кілька ліній різання, розташованих по концентричним колам відносно центра бура. Їх кількість визначається шириною різців із умов суцільного руйнування забою та розмірами складових частин. Із аналізу карти швидкостей, побудованих для різних робочих органів [2] можна рекомендувати раціональні співвідношення діаметрів та швидкостей обертання їх складових:

$$D/d = 2...3, \quad (1)$$

і передаточне відношення

$$i = n_1/n_2 = 3...4, \quad (2)$$

де  $D$ ,  $d$  – діаметр зовнішньої і внутрішньої складових частин,  $n_1$ ,  $n_2$  – їх частоти обертання, відповідно.

Для узгодження продуктивності різців, що працюють на різних лініях різання, розташованих на різних відстанях від центра, крім зміни швидкості обертання складових частин доцільно збільшувати кількість різців на більш віддалених лініях різання. Можлива схема розстановки різців на лопотях складеного бура приведена на рис. 2. б.

Для розрахунку міцності зубців планетарної передачі використовують ті ж формули, що і при розрахунку простих зубчастих передач [3]. Розрахунки виконують для кожного зачеплення, зовнішнього – коліс 1 та 2, внутрішнього – коліс 2 та 3 з врахуванням того, що при визначенні допустимих напружень коефіцієнти довготривалості  $K_{HL}$  та  $K_{FL}$  знаходять для відносного руху коліс, тобто

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N'}} \quad \text{та} \quad K_{FL} = \sqrt[m]{\frac{4 \cdot 10^6}{N'}} \quad (3)$$

де  $N'$  – число циклів зміни напружень при відносному русі коліс.

Для ведучого колеса (шестерні)

$$N'_1 = 573 n_w w'_1 L_h, \quad (4)$$

де  $n_w$  – число сателітів;  $w'_1 = w_1 - w_h$  – відносна кутова швидкість ведучої центральної шестерні;  $w_1$  та  $w_h$  кутова швидкість ведучої шестерні та водила,  $L_h$  – довготривалість.

Для сателітів

$$N'_2 = 573 w'_h L_h, \quad (5)$$

де:  $w'_h = w_1 \frac{z_1}{z_2}$  – відносна кутова швидкість водила.

Підшипники кочення рекомендується приймати: для опор центрального вала-шестерні шарикові радіальні легкої або середньої серії, для опор сателітів – шарикові або роликові сферичні середньої серії, для опор водила, що сприймає радіальні та осьові навантаження від бурової штанги – роликові конічні середньої або важкої серії. Вибрані підшипники перевіряють по навантаженням згідно розрахункових схем, приведеним на рис. 4 а, б, де  $R_1$ ,  $R_2$  та  $R_a$  – реакції опор,  $F$  – сила в зубчастому зачепленні,  $F_k$  та  $F_a$  – консольне та осьове навантаження від бурової штанги.

Враховуючи максимально можливу нерівномірність розподілу загального навантаження по потоком, силу в зубчастому зачепленні рекомендується визначати за формулами [3]:

для швидкохідного вала

$$F = 0,4 T_1 / d_1, \quad (6)$$

де  $T_1$ ,  $d_1$  – крутний момент та діаметр швидкохідного вала (рис.3, а).

Для тихохідного веденого вала (водила) (рис. 3, б)

$$F = 0,2T_h/a_w, \quad (7)$$

де  $T_h$  - момент на вихідному валі (води́лі);  $a_w$  - міжосьова відстань передачі

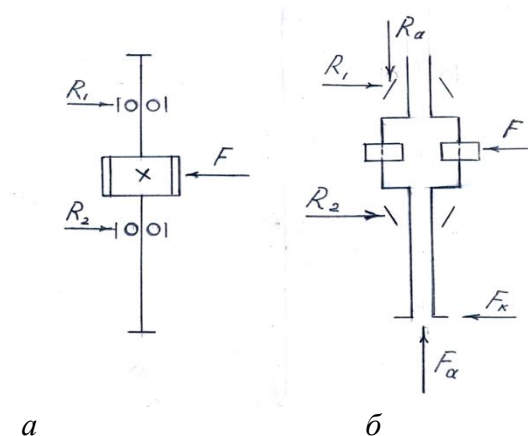


Рисунок 3. Розрахункові схеми для підшипників: а – центрального вала шестерні; б – сателітів та води́ла з полим вихідним валом.

Осьова сила  $F_a$  та консольна  $F_k$  визначаються із розрахунків навантажень, що діють на робочий орган бурильного обладнання.

Для виконання силових розрахунків даного бурильного обладнання слід визначити значення крутних моментів, що діють на вали робочого органу та планетарного обертальника.

Від центральної складової частини робочого органу при бурінні ґрунту діє крутний момент, який передається на вал – шестерню обертальника

$$T_1 = \sum P_i R_{i1} + \sum P_i r_c \quad (8)$$

де  $P_i$  - сила різання кожним різцем,  $R_{i1}$  - радіус лінії різання,  $r_c$  - радіус забурника.

Зовнішня складова частина робочого органу при роботі створює крутний момент, що передається на вихідний вал води́ла

$$T_h = \sum P_i R_{ih}, \quad (9)$$

де  $R_{ih}$  - радіус і-ї лінії різання зовнішньої складової робочого органу.

Сумарний крутний момент, що передається на центральний вал – шестерню планетарного механізму

$$T = T_1 + T_2, \quad (10)$$

де  $T_2 = T_h/i \cdot \eta$  - крутний момент, що передається від сателітів;  $i$  - передаточне відношення;  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії передачі. Визначення сил різання для різних типів різців наведено в літературі [1].

Застосування запропонованої конструкції бурильного обладнання з роздільним обертанням складових частин робочого органу і рекомендації по його проектуванню порівняно з існуючими рішеннями дає змогу зменшити енергоємність процесу буріння свердловин, особливо в міцних ґрунтах, та підвищити стійкість різців за рахунок більш рівномірного розподілу на них навантаження, підвищити продуктивність буріння.

### Література

1. Смірнов В.М. Основи теорії різання ґрунтів просторово орієнтованими ножами робочих органів землерийних машин: Монографія. – К.: “МП Леся”, 2009.
2. Смірнов В.М., Головань В.П. Модернізований лопатевий робочий орган для буріння міцних ґрунтів. Зб. Техніка будівництва. № 23. 2009.
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование. – М.: Высш. Шк., 1984.



## Машина і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

УДК 666.97.003.16

*І. І. Назаренко, д. т. н., професор*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

*М. П. Нестеренко, к. т. н., доцент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО РЕЖИМУ ВІБРОПЛОЩАДКИ НА ЗАВЕРШАЛЬНІЙ СТАДІЇ ФОРМУВАННЯ БЕТОННОГО ЛОТКА

*АННОТАЦІЯ.* Виконані аналітичні дослідження робочого режиму віброплощадки на завершальній стадії формування бетонного лотка.

*Ключові слова:* бетонна суміш, віброплощадка, віброзбуджувач, дебаланс, просторові коливання, пружна опора.

*АННОТАЦИЯ.* Проведены аналитические исследования рабочего режима виброплощадки на стадии формирования бетонного лотка.

*Ключевые слова:* бетонная смесь, виброплощадка, вибровозбудитель, дебаланс, пространственные колебания, упругая опора.

*ANNOTATION.* Analytical researches operating condition work vibration platform are conducted on the stage shaping of concrete tray without the account overhead layer.

*Keywords:* concrete mixture, vibration platform, vibration exciter, unbalance, spatial vibrations, resilient support.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах будівництва широко використовуються просторові бетонні і залізобетонні вироби складної форми, прикладом котрих можуть бути бетонні лотки. Вони знайшли застосування як при спорудженні теплотрас, так і при будівництві трубопроводів різноманітного призначення. Канали, які виконані з бетонних лотків, можуть прокладатися як у звичайних ґрунтах, так і в ґрунтах з особливими характеристиками, наприклад в ґрунтах просадного типу, в умовах наявності ґрунтових вод, у районах з високою сейсмічною активністю. Крім того, бетонні лотки загального призначення також використовуються для установки в пішохідних зонах, на автостоянках, під'їзних шляхах, у спортивних спорудах тощо. Такі вироби формують на інерційних віброплощадках з вертикально направленими коливаннями, які забезпечують ефективно формування бетонних і залізобетонних виробів із жорстких бетонних сумішей, але дуже енергоємні і складні за конструкцією, особливо зі збільшенням їхньої вантажопідйомності [1].

**Аналіз останніх досліджень.** Доведено [2], що досить ефективними при формуванні бетонних виробів є віброплощадки з використанням одно-, дво- та полічастотної багатокомпонентної вібрації.

Інерційні віброплощадки з низькочастотними горизонтально направленими коливаннями [3–4] прості за конструкцією, менш енергоємні, проте забезпечують формування плоских виробів лише з пластичних бетонних сумішей. Ці віброплощадки можуть бути застосовані для формування бетонних і залізобетонних виробів з просторовою формою конструкції. Проте залишається відкритим питання про використання різноспрямованої вібраційної дії на ущільнюване середовище. Не розв'язане питання [5 – 6] обґрунтування режимів і напряму вібраційної дії при формуванні просторових бетонних і залізобетонних виробів складної форми



**Метою роботи** є дослідження динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище», на яку діє збудження у вигляді горизонтально направленої вимушуючої сили, при формуванні бетонного лотка.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для визначення закону руху і основних параметрів віброплощадки для формування бетонного лотка досліджуємо динамічну систему «віброплощадка – бетонне середовище» (рис. 1), на яку діє збудження у вигляді горизонтально направленої вимушуючої сили, прикладеної нижче від центра мас коливальної системи.

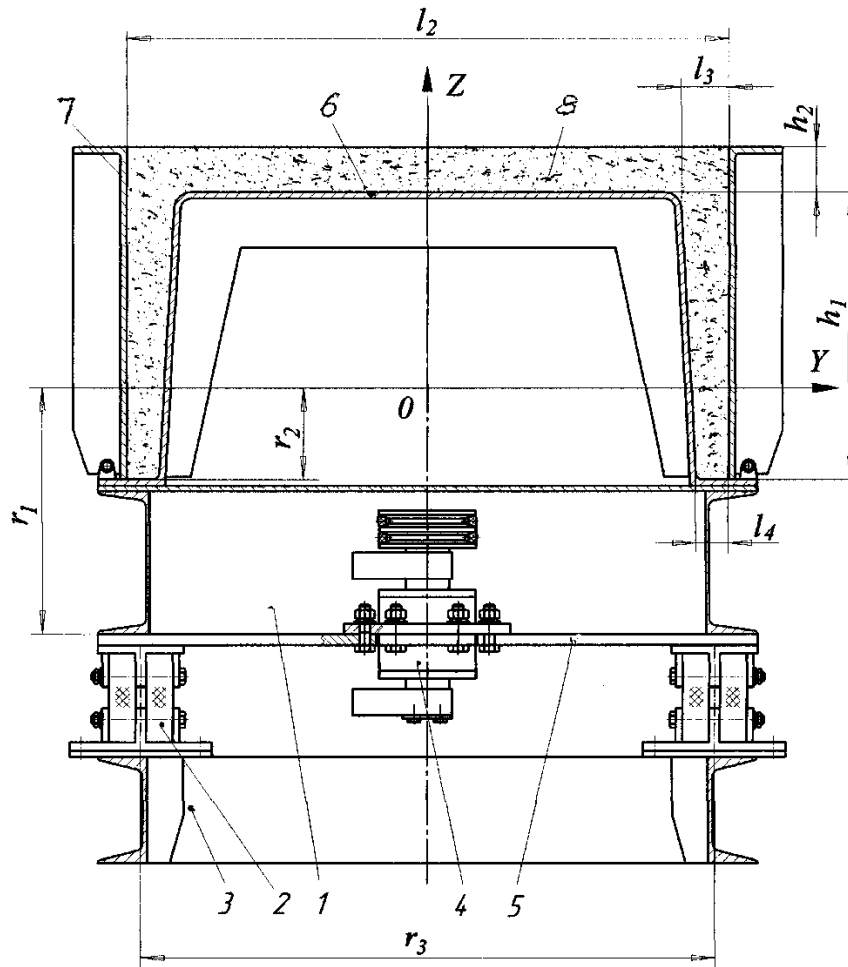


Рисунок 1. Розрахункова схема віброплощадки на стадії формування бічних стінок бетонного лотка у формі: 1 – рухома рама віброплощадки, 2 – пружна опора, 3 – опорна рама, 4 – віброзбуджувач, 5 – опорна плита, 6 – осердя форми, 7 – поздовжній борт, 8 – бетонна суміш.

На початку формування виробів уздовж поздовжніх бортів 7 форми бетоноукладачем укладають валком бетонну суміш 8, яка частково заповнює простір між поздовжніми бортами 7 і осердям 6. Вмикають привідний електродвигун, який за допомогою клинопасової передачі обертає дебалансний вал віброзбуджувача коливань 4 з кутовою швидкістю  $\omega$ . При цьому вимушуюча сила  $Q$  викликає коливання рухомої рами 1 разом з формою в горизонтальному напрямі та одночасно крутильні коливання відносно центра мас  $O$  коливальної системи. На бетонну суміш діє різноспрямована вібрація у вигляді одночасно прикладених кругових і крутильних коливань, завдяки якій у віброваній суміші поряд із нормальними виникають зсувні деформації.

При такій вібраційній дії тривалістю 10 – 15 с суміш переходить у тиксотропний стан і повністю заповнює простір між поздовжніми бортами 7 і осердям 6, утворюючи бічні борти лотка. Після закінчення попереднього ущільнення вмикають віброзбуджувач



коливань, укладають бетонну суміш рівномірно по всій поверхні формованого виробу і остаточно її ущільнюють.

Коливання динамічної системи відносно координатних осей  $X$  та  $Y$ , які проходять відповідно у поздовжньому та поперечному напрямках через центр мас  $O$  динамічної системи, можна описати такою системою рівнянь:

$$(m + m_{\tau} + m_{d\tau}) \frac{d^2 x_1}{dt^2} + (b_1 + b_{\tau} + b_{d\tau}) \frac{d x_1}{dt} + c_1 x_1 = Q \cos \omega t; \quad (1)$$

$$(m + m_{i\delta 2} + m_{d\tau} + m_{i\delta 21}) \frac{d^2 y_1}{dt^2} + (b_2 + b_{d\tau}) \frac{d y_1}{dt} + c_2 y_1 = Q \sin \omega t; \quad (2)$$

$$(J_x + J_1 + J_{dx}) \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + n_1 \frac{d \varphi_1}{dt} + \varsigma_1 \varphi_1 = M_1 \sin \omega t; \quad (3)$$

$$(J_y + J_2 + J_{dy}) \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + (n_2 + n_{y\tau}) \frac{d \varphi_2}{dt} + \varsigma_2 \varphi_2 = M_1 \cos \omega t, \quad (4)$$

де  $m$  – маса рухомої рами віброплощадки разом з формою;

$x_1, y_1$  – переміщення рухомої рами відповідно по координатних осях  $X$  та  $Y$ ;

$c_1, c_2$  та  $c_3$  – коефіцієнти жорсткості пружних опор відповідно по координатних осях  $X, Y$  і  $Z$ ;

$b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти непружного опору пружних опор відповідно по координатних осях  $X, Y$  і  $Z$ ;

$b_{\tau}$  – коефіцієнт непружного опору суміші при зсувних деформаціях, що створюються поздовжніми стінками форми, визначається на підставі роботи [7],

$$b_{\tau} = 2h_1 L \eta_s \frac{2k_2 \sin(k_2 l_1) + \alpha_2 (e^{2\alpha_2 l_1} - 1) \cos^2(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1} \cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1)}; \quad (5)$$

$Q$  – амплітуда вимушеної сили;

$\omega$  – кутова частота вимушених коливань;

$\varphi_1, \varphi_2$  – кутові зсуви рухомої системи віброплощадки відносно координатних осей відповідно  $X$  та  $Y$ ;

$\varsigma_1, \varsigma_2$  – коефіцієнти крутильних жорсткостей пружних опор відносно координатних осей  $X$  та  $Y$ :

$$\varsigma_1 = \frac{\tilde{n}_3 r_3^2}{4}; \quad (6)$$

$$\varsigma_2 = \frac{\tilde{n}_3 r_4^2}{4}; \quad (7)$$

$r_3, r_4$  – відстань між пружними опорами по координатних осях відповідно  $Y$  та  $X$ ;

$n_1, n_2$  – коефіцієнти непружного опору пружних опор при скручуванні відносно координатних осей відповідно  $X$  та  $Y$ :

$$n_1 = \frac{b_3 r_3^2}{4}; \quad (8)$$

$$n_2 = \frac{b_3 r_4^2}{4}; \quad (9)$$

$n_{y\tau}$  – коефіцієнт непружного опору бетонній суміші при кутовому зсуві  $\varphi_2$  відносно осі  $Y$ ,

$$n_{y\tau} = b_\tau \frac{L^2}{4}; \quad (10)$$

$t$  – час;

$M_1$  – амплітуда моменту вимушуючої сили,

$$M_1 = Q r_1; \quad (11)$$

$m_\tau$  – приведена маса бетонної суміші, з якої формуються бічні борти лотка, визначається залежністю виведеною раніше [7, 8],

$$m_\tau = 2 h_1 L \eta_s \frac{k_2 (e^{2\alpha_2 l_1} - 1) \cos^2(k_2 l_1) + 2 \alpha_2 \sin(k_2 l_1)}{\omega \cdot \{ [e^{\alpha_2 l_1} \cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1) \}}; \quad (12)$$

$l_1$  – середня товщина стінки лотка,

$$l_1 = 0,5(l_3 + l_4);$$

$m_{d\tau}$  – приведена маса бетонної суміші, з якої формується дно бетонного лотка, при її взаємодії з горизонтальною поверхнею осердя (днищем форми), визначена в роботах [7, 8],

$$m_{d\tau} = \frac{\eta_s L l_2 h_2}{a_1}; \quad (13)$$

$h_2$  – товщина ущільнюваного шару, рівна товщині дна бетонного лотка;

$b_{d\tau}$  – коефіцієнт непружного опору бетонної суміші при її взаємодії з горизонтальною поверхнею осердя [7, 8],

$$b_{d\tau} = \alpha_1 \eta_s L l_2 h_2; \quad (14)$$

$m_{i\delta 21}$  – приведена маса бетонної суміші дна лотка заввишки  $h_2$ , яка взаємодіє з вертикальними стінками форми,

$$m_{i\delta 21} = h_2 L \left( 0,5\xi + E k_1 \frac{e^{\delta_1 l_2} - \cos k_1 l_2}{\sin k_1 l_2} \right) \frac{1}{\omega^2}; \quad (15)$$

$J_{dx}$ ,  $J_{dy}$  – моменти інерції маси бетонної суміші, з якої формується дно бетонного лотка, відносно координатних осей відповідно  $X$  та  $Y$ :

$$J_{dx} = m_{i\delta 11} \left[ \frac{l_2^2}{12} + (h_1 - r_2 + 0,5 h_2)^2 \right]; \quad (16)$$

$$J_{dy} = m_{i\delta 11} \left[ \frac{L^2}{12} + (h_1 - r_2 + 0,5 h_2)^2 \right]; \quad (17)$$

$m_{i\delta 11}$  – приведена маса суміші, з якої формується дно бетонного лотка, заввишки  $h_2$ ,

$$m_{i\delta 11} = l_2 L \left[ \frac{\rho}{k} \operatorname{tg}(k_1 h_2 - \lambda_1) \sqrt{1 - \frac{0,25 \xi^2}{E^2 \omega^2} + \frac{0,5 \xi}{\omega^2}} \right]; \quad (18)$$



$J_x, J_y$  – моменти інерції маси бетонної суміші, з якої формується бічна стінка лотка, відносно координатних осей відповідно  $X$  та  $Y$ :

$$J_x = 2m_{i\delta 1} \left[ \frac{l_1^2}{12} + \frac{(l_2 - l_1)^2}{4} + \frac{h_1^2}{12} + (0,5h_1 - r_2)^2 \right]; \quad (19)$$

$$J_y = m_{i\delta 1} \left[ \frac{L^2}{12} + \frac{h_1^2}{12} + (0,5h_1 - r_2)^2 \right] + \frac{m_\tau L^2}{12}; \quad (20)$$

$m_{i\delta 1}$  – приведена маса бетонної суміші при вібраційній дії у вертикальному напрямку, визначається на підставі залежності, виведеної у роботі [7],

$$m_{i\delta 1} = l_1 L \left[ \frac{\rho}{k} \operatorname{tg}(k_1 h_1 - \lambda_1) \sqrt{1 - \frac{0,25\xi^2}{E^2 \omega^2} + \frac{0,5\xi}{\omega^2}} \right]; \quad (21)$$

Розв'язок системи рівнянь (1) – (2) для стаціонарних вимушених коливань динамічної системи представимо в такому вигляді:

$$x_{n1}(t) = A_{n1} \cos(\omega t + \theta_{n1}); \quad (22)$$

$$y_{n1}(t) = A_{n2} \sin(\omega t - \theta_{n2}); \quad (23)$$

$$\varphi_{n1}(t) = \Phi_{n1} \cos(\omega t + \theta_{n3}); \quad (24)$$

$$\varphi_{n2}(t) = \Phi_{n2} \sin(\omega t - \theta_{n4}), \quad (25)$$

де  $A_{n1}, A_{n2}$  – амплітуди гармонійних коливань рухомої рами у напрямку координатних осей відповідно  $X$  та  $Y$ :

$$A_{n1} = \frac{Q}{\sqrt{[c_1 - (m + m_\tau + m_{d\tau})\omega^2]^2 + (b_1 + b_\tau + b_{d\tau})^2 \omega^2}}; \quad (26)$$

$$A_{n2} = \frac{Q}{\sqrt{[c_2 - (m + m_{i\delta 2} + m_{d\tau})\omega^2]^2 + (b_2 + b_{d\tau})^2 \omega^2}}; \quad (27)$$

$\theta_{n1}, \theta_{n2}$  – кути зсуву фаз між амплітудою вимушуючої сили й амплітудою вимушених коливань рухомої рами у напрямку координатних осей відповідно  $X, Y$  при повному завантаженні форми:

$$\theta_{n1} = \operatorname{arctg} \frac{(b_1 + b_\tau + b_{d\tau})\omega}{c_1 - (m + m_\tau + m_{d\tau})\omega^2}; \quad (28)$$

$$\theta_{n2} = \operatorname{arctg} \frac{(b_2 + b_{d\tau})\omega}{c_1 - (m + m_{i\delta 2} + m_{d\tau})\omega^2}; \quad (29)$$

$\theta_{n3}, \theta_{n4}$  – кути зсуву фаз між амплітудою моменту вимушуючої сили й амплітудою крутильних гармонійних коливань відносно координатних осей відповідно  $X, Y$ :

$$\theta_{n3} = \operatorname{arctg} \frac{n_1 \omega}{\zeta_1 - (J_1 + J_x + J_{dx})\omega^2}; \quad (30)$$

$$\theta_{n4} = \operatorname{arctg} \frac{(n_2 + n_{y\tau})\omega}{\zeta_2 - (J_2 + J_y + J_{dy})\omega^2}; \quad (31)$$

$\Phi_{n1}$ ,  $\Phi_{n2}$ , – амплітуди крутильних гармонійних коливань відносно координатних осей відповідно  $X$ ,  $Y$ :

$$\Phi_{n1} = \frac{\dot{I}_1}{\sqrt{[\zeta_1 - (J_1 + J_x + J_{dx})\omega^2]^2 + n_1^2 \omega^2}}; \quad (32)$$

$$\Phi_{n2} = \frac{\dot{I}_1}{\sqrt{[\zeta_2 - (J_2 + J_y + J_{dy})\omega^2]^2 + (n_2 + n_{y\tau})^2 \omega^2}}. \quad (33)$$

Використовуючи залежності (22) – (33), знайдемо закони руху форми з ущільнюваною бетонною сумішшю в наступному вигляді:

– лінійні переміщення у напрямі координатної осі  $X$

$$u_{nx}(z, t) = x_{n1}(t) - z\varphi_{n1}(t) = A_{n1}\cos(\omega t + \theta_{n1}) - \Phi_{n1}z\cos(\omega t + \theta_{n3})$$

при  $-r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2$ ; (34)

– лінійні переміщення у напрямі координатної осі  $Y$

$$u_{ny}(z, t) = y_{n1}(t) - z\varphi_{n2}(t) = A_{n2}\sin(\omega t - \theta_{n2}) - \Phi_{n2}z\sin(\omega t - \theta_{n4})$$

при  $-r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2$ ; (35)

– лінійні переміщення у напрямі координатної осі  $Z$ , які описують закони руху форми при  $z \leq h_1 - r_2$ ,

$$u_{nz1}(x, t) = 0,5(l_2 - l_1)\varphi_{n2}(t) + x\varphi_{n1}(t) =$$

$$= 0,5\Phi_{n2}(l_2 - l_1)\sin(\omega t - \theta_{n4}) + \Phi_{n1}x\cos(\omega t + \theta_{n3})$$

при  $-0,5L \leq x \leq 0,5L$  і  $z \leq h_1 - r_2$ . (36)

– лінійні переміщення у напрямі координатної осі  $Z$ , які описують закони руху форми при  $h_1 - r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2$ ,

$$u_{nz2}(x, y, t) = 0,5(l_2 - l_1)\varphi_{n2}(t) + x\varphi_{n1}(t) =$$

$$= 0,5\Phi_{n2}y\sin(\omega t - \theta_{n4}) + \Phi_{n1}x\cos(\omega t + \theta_{n3})$$

при  $-0,5L \leq x \leq 0,5L$ ,  $0 \leq y \leq 0,5(l_2 - l_1)$  і  $h_1 - r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2$ , (37)

де  $u_{nx}(z, t)$ ,  $u_{ny}(z, t)$  – закони руху бічної поверхні форми, яка контактує з ущільнюваною бетонною сумішшю відповідно у напрямі координатних осей  $X$ ,  $Y$ ;

$u_{nz1}(x, t)$ ,  $u_{nz2}(x, y, t)$  – закони руху бічної поверхні форми, що контактує з ущільнюваною бетонною сумішшю, відповідно у напрямі координатної осі  $Z$ .

Після перетворень виразів (34) – (37) отримаємо залежності,  $u_{nz1}(x, t)$  і  $u_{nz2}(x, y, t)$ , які у подальшому можна використати для аналізу і моделювання на ПЕОМ:

$$u_{nx}(z, t) = A_{n1x}(z)\cos[\omega t + \theta_{n1x}(z)] \quad \text{при} \quad -r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2; \quad (38)$$

$$u_{ny}(z, t) = A_{n2y}(z)\sin[\omega t - \theta_{n2y}(z)] \quad \text{при} \quad -r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2; \quad (39)$$

$$u_{nz1}(x, t) = A_{n3z}(x)\sin[\omega t - \theta_{n3z}(x)] \quad \text{при} \quad -0,5L \leq x \leq 0,5L \quad \text{і} \quad z \leq h_1 - r_2; \quad (40)$$

$$u_{nz2}(x, y, t) = A_{n4z}(x, y)\sin[\omega t - \theta_{n4z}(x, y)] \quad \text{при} \quad -0,5L \leq x \leq 0,5L \quad \text{і} \quad -0,5l_2 \leq y \leq 0,5l_2 \quad \text{и} \quad h_1 - r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2, \quad (41)$$

де  $A_{n1x}(z)$  – амплітуда гармонійних коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $X$ ,



$$A_{n1x}(z) = \sqrt{A_{n1}^2 + \Phi_{n1}^2 z^2 - 2 A_{n1} \Phi_{n1} z \cos(\theta_{n1} - \theta_{n3})}; \quad (42)$$

$\theta_{n1}(z)$  – кут зсуву фаз між амплітудою вимушуючої сили і амплітудою вимушених коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $X$ ,

$$\theta_{n1x}(z) = \arctg \frac{A_{n1} \sin \theta_{n1} - \Phi_{n1} z \sin \theta_{n3}}{A_{n1} \cos \theta_{n1} - \Phi_{n1} z \cos \theta_{n3}}; \quad (43)$$

$A_{n2y}(z)$  – амплітуда гармонійних коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $Y$ ,

$$A_{n2y}(z) = \sqrt{A_{n2}^2 + \Phi_{n2}^2 z^2 - 2 A_{n2} \Phi_{n2} z \cos(\theta_{n2} - \theta_{n4})}; \quad (44)$$

$\theta_{n2y}(z)$  – кут зсуву фаз між амплітудою вимушуючої сили і амплітудою вимушених коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $Y$ ,

$$\theta_{n2y}(z) = \arctg \frac{A_{n2} \sin \theta_{n2} - \Phi_{n2} z \sin \theta_{n4}}{A_{n2} \cos \theta_{n2} - \Phi_{n2} z \cos \theta_{n4}}; \quad (45)$$

$A_{n3z}(x)$  – амплітуда гармонійних коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $Z$  при  $z \leq h_1 - r_2$ ,

$$A_{n3z}(x) = [0,25 \Phi_{n2}^2 (l_2 - l_1)^2 + \Phi_{n1}^2 x^2 - \Phi_{n1} \Phi_{n2} (l_2 - l_1) x \sin(\theta_{n3} + \theta_{n4})]^{0,5}; \quad (46)$$

$\theta_{n3z}(x)$  – кут зсуву фаз між амплітудою моменту вимушуючої сили та амплітудою крутильних гармонійних коливань,

$$\theta_{n3z}(x) = \arctg \frac{0,5 \Phi_{n2} (l_2 - l_1) \sin \theta_{n4} - \Phi_{n1} x \cos \theta_{n3}}{0,5 \Phi_{n2} (l_2 - l_1) \cos \theta_{n4} - \Phi_{n1} x \sin \theta_{n3}}; \quad (47)$$

$A_{n4z}(x, y)$  – амплітуда гармонійних коливань рухомої рами у напрямку координатної осі  $Z$  при  $h_1 - r_2 \leq z \leq h_1 + h_2 - r_2$ ,

$$A_{n4z}(x, y) = \sqrt{\Phi_{n2}^2 y^2 + \Phi_{n1}^2 x^2 - \Phi_{n1} \Phi_{n2} x y \sin(\theta_{n3} + \theta_{n4})}; \quad (48)$$

$\theta_{n4z}(x, y)$  – кут зсуву фаз між амплітудою моменту вимушуючої сили й амплітудою крутильних гармонійних коливань,

$$\theta_{n4z}(x, y) = \arctg \frac{\Phi_{n2} y \sin \theta_{n4} - \Phi_{n1} x \cos \theta_{n3}}{\Phi_{n2} y \cos \theta_{n4} - \Phi_{n1} x \sin \theta_{n3}}. \quad (49)$$

### Висновки.

1. Отримані вирази (38) – (44) описують закон руху встановленої на рухомій рамі віброплощинки форми, взаємодіючої з ущільнюваним середовищем і впливаючої на бетонну суміш змінною по величині амплітудно-частотною просторовою вібрацією.
2. Вирази (42), (44), (46) і (48) дозволяють визначити характер зміни амплітуд коливань елементів даної динамічної системи, які взаємодіють із ущільнюваною сумішшю у напрямку координатних осей  $X$ ,  $Y$  та  $Z$ . Це дозволяє досить точно визначити величини амплітуд коливань і напружень, які виникають у бетонному середовищі при вібраційній дії, оцінити ефективність вібраційної дії на ущільнюване середовище і обґрунтувати раціональні параметри віброплощинки для формування просторових бетонних виробів.

*Література*

1. Назаренко, І. І. *Машини для виробництва будівельних матеріалів: підручник* / І. І. Назаренко. – К.: КНУБА. – 1999. – 544 с.
2. Нестеренко, М. П. Аналіз конструктивно-технологічних параметрів віброплощадок і віброустановок для формування залізобетонних виробів / М. П. Нестеренко // *Техніка будівництва*. – К.: Академія будівництва. – Київський національний університет будівництва та архітектури. – 2010. – № 24. – С. 18 – 23.
3. Нестеренко, М. П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для підприємств будівельної індустрії / М. П. Нестеренко // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПолтНТУ. – 2002. – Вип. 9. – С. 90 – 93.
4. Маслов, А. Г. *Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве* / А. Г. Маслов, В. М. Пономарь. – К.: Будівельник. – 1985. – 128 с.
5. Нестеренко, М. П. Аналітичне моделювання вібраційної установки з урахуванням впливу бетонної суміші на динаміку віброуцільнення / М. П. Нестеренко, П. О. Молча-нов // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПолтНТУ. – 2011. – Вип. 1 (29). – С. 3 – 10.
6. Нестеренко, М. П. Математичне моделювання вібраційних машин для формування залізобетонних виробів з урахуванням впливу бетонної суміші на робочий орган / М. П. Нестеренко, Д. С. Педь // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КДТУ. – 2009. – № 1 (54), Ч. 1. – С. 78 – 80.
7. Нестеренко, М. П. Дослідження характеру взаємодії вертикальних стінок форми з бетонною сумішшю при дії горизонтальної складової просторових коливань віброплощадки / М. П. Нестеренко // *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління*. – Кременчук: КУЕІТУ. – 2009. – № 4 (26). – С. 153 – 158.
8. Нестеренко, М. П. Дослідження характеру взаємодії віброплощадки з бетонною сумішшю при дії вертикально направленої складової просторових коливань віброплощадки / М. П. Нестеренко // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПолтНТУ. – 2009. – Вип. 3 (25), Т. 1. – С. 136 – 142.



УДК. 621.891.

*В.О. Пенчук, д.т.н., професор*

*Е.О. Крикун,*

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.*

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ ПАССИВНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

*АНОТАЦІЯ. У роботі розглядаються питання вибору раціональних параметрів пасивних розподільників гравітаційного типу. Приводиться аналіз робіт і рекомендації для вибору основних параметрів розподільного пристрою, таких як кут нахилу поверхні ковзання, її довжини ковзання, а також вибір матеріалів, що рекомендуються, для виготовлення поверхні ковзання пасивного розподільника для підвищення зносостійкої.*

*Ключові слова: знос поверхні ковзання, сталь, зносостійкість траспределеніє, сипкі матеріали, транспортування, розвантаження, склади, об'єм.*

*АННОТАЦИЯ. В работе рассматриваются вопросы выбора рациональных параметров пассивных распределителей гравитационного типа. Приводится анализ работ и рекомендации для выбора основных параметров распределительного устройства, таких как угол наклона поверхности скольжения, ее длины скольжения, а также выбор рекомендуемых материалов для изготовления поверхности скольжения пассивного распределителя для увеличения износостойкости.*

*Ключевые слова: износ поверхности скольжения, сталь, износостойкость траспределение, сыпучие материалы, транспортировка, разгрузка, склады, объем.*

*ANNOTATION. The questions of choice of rational parameters of passive distributors of gravity type are in-process examined. Led analysis of works and recommendation for the choice of basic parameters of distributive device, such as an angle of slope of shute, its lengths of sliding, and also choice of the recommended materials for making of shute passive distributor for the increase of wearproofness..*

*Keywords: wear of shute, steel, wearproofness of traspredelenie, friable materials, transporting, unloading, storages, volume.*

**Актуальность работы.** Разнообразные сыпучие материалы используются в строительной, пищевой, сельскохозяйственной, металлургической и других отраслях промышленности. В технологических линиях по использованию или изготовлению сыпучих материалов существует необходимость их перемещать, распределять и складировать. В указанных операциях с сыпучими материалами широко используются различные лотки, направляющие, тетки, распределители гравитационного действия, в которых материал скользит по неподвижной поверхности. Обоснование рациональных конструкций оборудования для сыпучих материалов, их ресурс, были и будут оставаться актуальными задачами.

**Анализ публикаций.** Детальные сведения об оборудовании для транспортирования и складирования сыпучих материалов, применяемом в конце XX века, дано в работах [1,2]. Однако до настоящего времени отсутствует системный анализ конструкций и тенденций развития распределителей сыпучих материалов.

Системный анализ патентно-изобретательского фонда позволил выявить ряд оригинальных технических решений, расширяющих функциональное назначение и эффективность пассивных распределителей сыпучих материалов [3].

В работах авторов [4,5] впервые доказана экономическая целесообразность использования пассивных распределителей гравитационного действия для формирования складов и распределения сыпучих материалов на 3,4 и 5 потоков.

**Формулирование цели и задач.** Целью работы является обоснование рациональных параметров и ресурса конструкций пассивных распределительных устройств.

**Задачи исследований:**

- выполнить системный анализ существующих конструкций распределителей;



- предложить рациональные конструкции пассивных распределительных устройств;
- рассмотреть вопросы износостойкости распределительных устройств.

**Основной материал.** Проведенный анализ транспортно – складских технологических систем переработки сыпучих материалов позволяет утверждать, что только за счет рациональных параметров пассивных распределителей существуют реальные возможности значительно повысить эффективность всей системы.

В работах [6,7] показано что, основой оптимизации отдельных потоков материалов, так и их совокупности можно обеспечить за счет различных адапционных процессов в транспортно-логистической схеме (Рис.1).

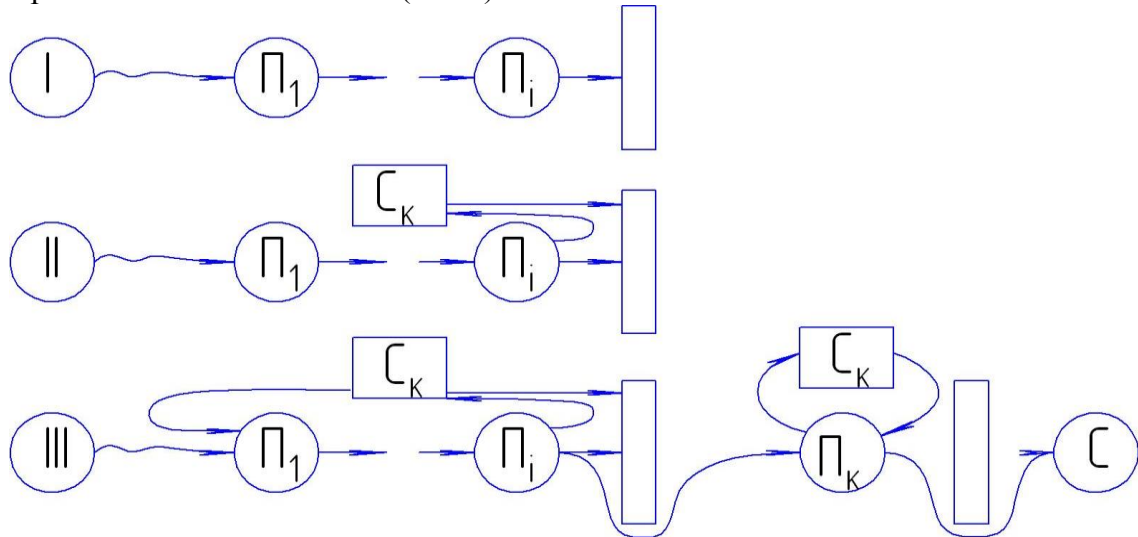


Рисунок 1. Уровни и циклы адапционных процессов в транспортно-логистической системе:  
 $\Pi_i$  – перемещение;  $C_k$  – складирование.

I - I уровень - интенсификация имеющейся перерабатывающей способности системы в изменяющихся рыночных условиях на основе оперативного управления перерабатывающей способностью на базе объектов транспортно-логистической системы;

II - II уровень - наращивание перерабатывающей способностью транспортной инфраструктуры путем реконструкции, модернизации и нового строительства объектов системы;

III - III уровень - поиск и разработка новых принципов использования объектов транспортно-логистической системы; выбор рациональной структуры; оптимизация использования устройств; активизация логистических процессов и их взаимодействия; оптимизация взаимодействия подсистем и систем в целом.

Как видно из представленной схемы возможны несколько методов адапционных решений, в которых за счет модернизации пассивных гравитационных распределителей возможно:

- повысить объемы складов сыпучих материалов, без вмешательства в конструкции основных транспортирующих машин - конвейеров (рис 2);
- обеспечить распределение основного потока материала  $Q$  от 2 до 5 потоков с возможностью управления их количественными характеристиками.

Основным элементом пассивного гравитационного распределителя является поверхность, основное назначение которой принимать сыпучий материал и обеспечивать ему нужное направление и скорость слета соответствующих частиц.

Наиболее простым техническим решением является пассивный распределитель с прямолинейной траекторией движения частиц материала. Основными параметрами такого распределения (рис. 3) являются угол наклона поверхности к горизонту и длина поверхности скольжения.

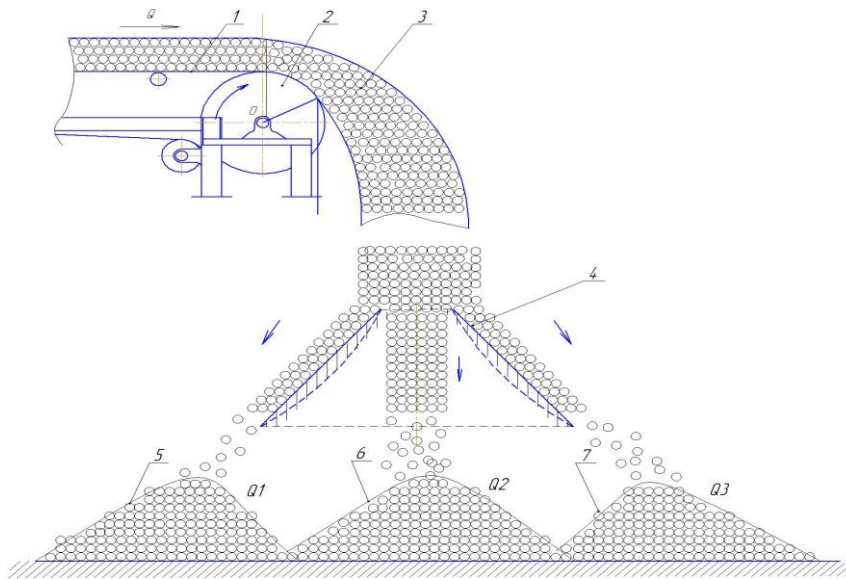


Рисунок 2. Схема распределения грузопотоков сыпучего материала для повышения объема складов:

1 – конвейер; 2 – сбрасывающий барабан; 3 – шлейф сыпучего материала; 4 – пассивный распределитель; 5;6;7 – штабеля сыпучего материала.

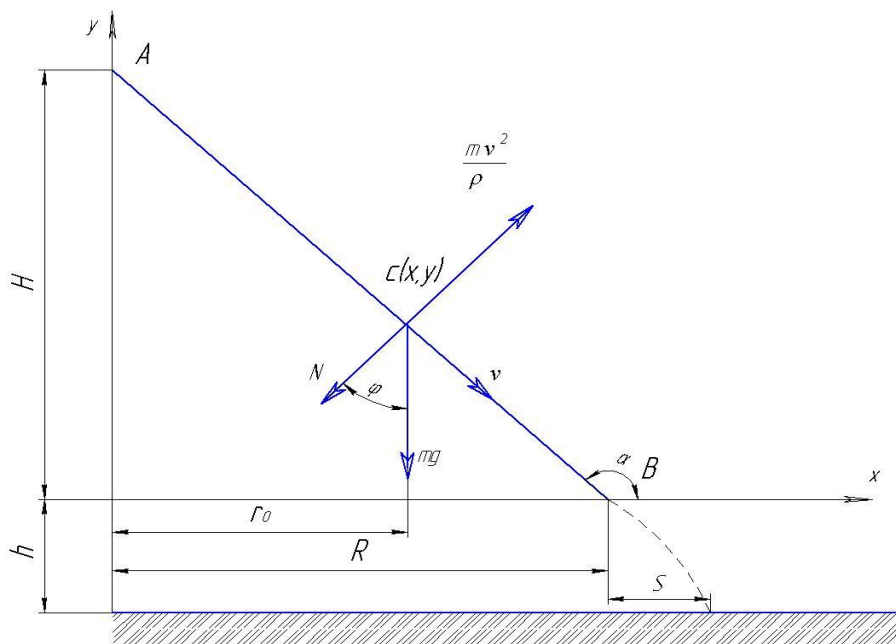


Рисунок 3. Основные характеристики пассивного распределителя.

За счет максимальной горизонтальной скорости слета частицы обеспечивается максимальная дальность её полета, а следовательно максимальный объем склада сыпучего материала для данной высоты расположения сбрасывающего барабана конвейера.

В общем виде дальность полета частиц можно вычислить по формуле

$$x = v_x \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (1)$$

где  $h$  - расстояние от нижней кромки разбрасывания до земли;

$v_x$  – горизонтальная скорость слета частиц.

В соответствии с обозначениями (рис. 3) дальность слета частиц с распределителя:

$$S = \sqrt{2g(R-r_0)} \sqrt{\frac{H}{R-r_0} - f} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{H^2}{(R-r_0)}}} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} =$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot hH}{f + \sqrt{f^2 + 1}}} \sqrt[4]{1 + f^2} \frac{1}{\sqrt{2 + 2f^2 + 2f\sqrt{1 + f^2}}} \quad (2)$$

где  $H$  – высота пассивного распределителя;

$f$  – коэффициент трения материала о поверхность.

На рис. 4 представлены результаты численного анализа зависимости (2), которые наглядно показывают, что увеличение высоты распределителя с  $H = 1,5$  м до  $H = 2$  м дальность полеты частиц практически не увеличивается. Дальность полета частиц возможно увеличить в 1,2...1,5 раза за счет изменения конфигурации поверхности с прямой на дугу окружности, параболу и др. В работе [8] показана и доказана возможность такого увеличения дальности распределения частиц сыпучего материала за счет конфигурации поверхности движения частиц.

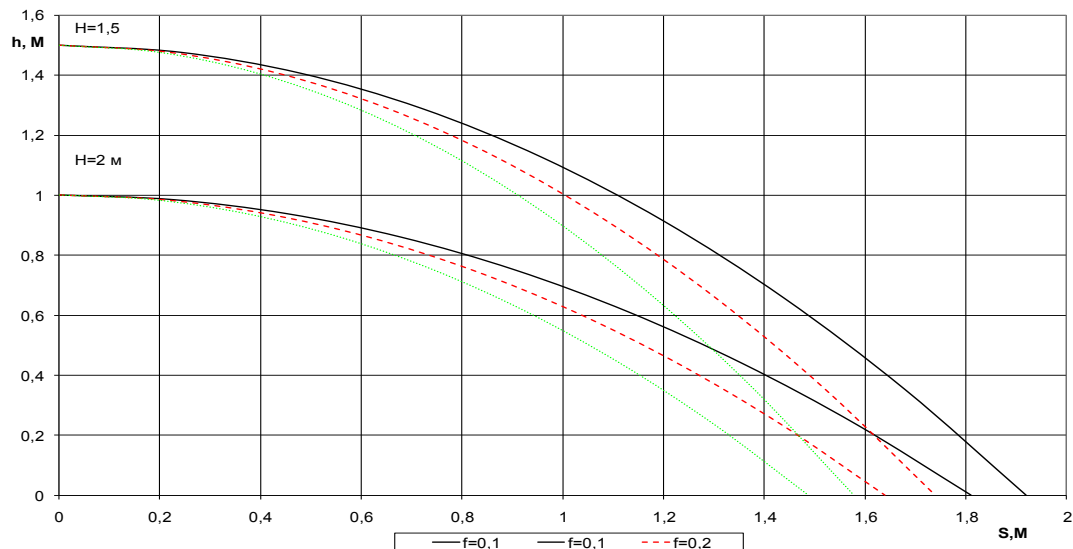


Рисунок 4. Сопоставительный анализ дальности распределения частиц сыпучих материалов.

Проектируя бункер, распределители, направляющие и другие устройства, обеспечивающие движение сыпучих материалов в первую очередь необходимо четко знать требуемый ресурс.

Системный анализ многочисленных исследований по теории износа поверхностей в режиме механического трения [9,10], позволяет представить ресурс любого приборостроения как:

$$t = \frac{[\Delta h]}{\sum_{i=1}^n \gamma_i}, \quad (3)$$

где  $[\Delta h]$  – допустимый износ поверхности;

$\sum_{i=1}^n \gamma_i$  – суммарная скорость изнашивания в трибосопряжения 2-х поверхностей.

Вопрос об изнашивании поверхностей сыпучего материала вообще может не рассматриваться, поэтому ресурс одной поверхности можно записать как



$$t = \frac{[\Delta h]}{\gamma_i}, \quad (4)$$

где  $\gamma_i$  - скорость изнашивания поверхности гравитационного пассивного направляющего.

Согласно исследованиям [11] средняя скорость механического изнашивания некоторой поверхности может быть представлена как

$$\gamma_i = a \cdot A_{mp} \cdot K_{обр} / F_{mp} \cdot E_u, \quad (5)$$

где  $a$  - коэффициент износа, мм<sup>3</sup>/Вт·ч;

$A_{mp}$  - средняя мощность трения, Вт;

$K_{обр}$  - площадь трения, мм<sup>2</sup>;

$F_{mp}$  - коэффициент абразивной среды;

$E_u$  - относительная износостойкость поверхности трения.

Если принять допущения, что геометрические размеры направляющей поверхности  $F_{mp}$ , нагрузка на нее от перемещаемого материала  $A_{mp}$ , вид материала  $K_{обр}$  одинаковы и допускаемый износ  $[\Delta h]$ , то соотношение ресурсов можно представить как:

$$K_t = \frac{t^I}{t^A} = \frac{\dot{a}^I}{\dot{a}^A} \cdot \frac{\dot{A}_u^H}{\dot{A}_u^A} \quad (6)$$

при  $F_{mp}^B = F_{mp}^H$ ;  $A_{mp}^B = A_{mp}^H$ ;  $K_{обр}^B = K_{обр}^H$ ;  $[\Delta h]^H = [\Delta h]^B$ .

Таким образом, ресурс поверхности скольжения сыпучего материала зависит от коэффициента износа поверхности и относительной стойкости трущегося элемента

Коэффициент износостойкости трущегося элемента  $E_u$  прямо пропорционален твердости материала поверхности [11] и определяется как:

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_{y\delta}}, \quad (7)$$

где  $H$  и  $H_{эм}$  - соответственно твердости рассматриваемой поверхности трения и твердости эталонной поверхности из материала Сталь 45 с термообработкой равная 150.

Таким образом, коэффициент соотношения ресурса поверхности трения можно представить как:

$$K_t = \frac{\dot{a}^I}{\dot{a}^A} \cdot \frac{\dot{I}^H}{\dot{I}^A}, \quad (8)$$

где  $H^H$  и  $H^B$  - соответственно базовой поверхности и новой.

Для защиты от абразивного износа поверхностей движения сыпучих материалов используется довольно широкий ассортимент материалов – легированные стали. Белые чугуны, полимеры и др. Полимерные материалы (резина, полиуретан), легированные стали, (65Г, Хардок, Г13Л), белые высокохромистые чугуны типа Ч4х28Н2, Ч4х15М2.

Компания POLY HI SOLIDUM более 40 лет занимается вопросами проектирования оборудования для сыпучих материалов, защитой течек, перегрузочных бункеров от износа с помощью полиуретана. Применение полиуретана «АБРАЗИВЭЛАСТ» позволяет поверхности движения сыпучих материалов защищать от абразивного износа, коррозии ударных нагрузок налипания и сводообразования.

В работах [11,12] показано что за счет применения наплавочных электродов Т-590 или Т-620, которые содержат до 30 % карбидной фазы, возможно создание поверхностей трения с большим ресурсом. Для широкого применения данной технологии разработана

технологическая линия автоматической порошковой наплавки плит. Предлагаемая к применению абразивостойкая плита представляет собой сплавленный двухслойный лист размером 1500\*2500 мм толщиной 10-20 мм, у которой один слой (основа) состоит углеродистой стали, а другой, наплавленный толщиной 4-10 мм из высокопрочного сплава с твердостью порошка 60-65HRC. В структуре наплавленного слоя около 4% углерода и 30% хрома, карбида хрома Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Плиты можно обрабатывать абразивными кругами, сваривать обычными сварочными аппаратами, что позволяет конструировать из них различные износостойкие точки, бункера, распределители.

#### **Выводы.**

1. Существующие конструкции пассивных распределителей позволяют за счет специальных форм делить основной поток сыпучего материала на  $n$  – потоков.
2. Рациональные конструкции пассивных распределителей зависят от функционального их назначения: формирования склада или деления основного потока, при этом они могут быть управляемыми и не управляемые.
3. Современные материалы: нержавеющая сталь типа 304-2В, футеровочный материал TIVAR 88, полимерные материалы (резина, полиуретан), легированные стали, (65Г, Хардок, Г13Л), белые высокохромистые чугуны типа Ч4х28Н2, Ч4х15М2 обеспечивают требуемую износостойкость поверхностей пассивных распределителей.

#### *Литература*

1. Борщев В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А., Тимонин А.С. // М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. — 208 с.
2. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины. /А.О.Спиваковский, В.К.Дьячков // М.: Изд-во «Машиностроение», 1983. - 487 с.
3. Авторское свидетельство СССР №960109 кл В65 G 47/74, 1982
4. Пенчук В.А. Техническая возможность и экономическая целесообразность модернизации разгрузочных устройств ленточных конвейеров щебеночных заводов / В.А.Пенчук, Э.А. Крикун // Вестник ДонНАСА. - 2008. - №3(71). – С.140-144
5. Пенчук В.А. Совершенствование транспортно-складских операций с сыпучими материалами. / В.А.Пенчук, Э.А. Крикун, П.А.Крикун //Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, науковий журнал. – Луганськ: №5(159) частина 2. 2011. - С.132-137
6. Губенко В.К. Моделирование динамики складских запасов порта как стохастического процесса марковского типа (программа «Логистика Приазовья»)/ В.К. Губенко, И.В.Николаенко, Н.А. Псурцева// Вестник приазовского государственного технического университета: Сборник научных трудов. Мариуполь., 2009 №19. – С. 205-208.
7. Парунакян В.Э. Оптимизация взаимодействия потоковых процессов в логистических транспортно-грузовых комплексах предприятий/ В.Э.Парунакян, Е.И. Сизова // Вестник приазовского государственного технического университета: Сборник научных трудов. Мариуполь., 2009 №19. – С. 251-255.
8. Пенчук В.А., Крикун Э.А. К вопросу выбора кривизны поверхности пассивного распределителя сыпучих материалов // Подъемно-транспортная техника, 2008, №3.
9. Сафонов Б.П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт//Б.П. Сафонов, А.В. Бегова // Новомосковск, 2004. -65с.
10. Сорокин Г.М. Инженерные критерии определения износостойкости сталей и сплавов при механическом изнашивании./ Г.М Сорокин // Вестник машиностроения, 2001, № 11.-С.-57-59.
11. Федоров Д.И. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. / Д.И.Федоров, Б.А. Бондарович.// М.: Машиностроение, 1981. - 280 с.
12. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования./ Б.Ф.Хазов, Б.А.Дидусев // – М.: Машиностроение, 1986. - 224с.



Ю.М. Дьомін, пошукувач, Національний  
технічний університет України (НТУУ «КПІ»)

## ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

*АННОТАЦІЯ. Розглянуто існуючі методи нанесення захисного покриття на магістральні трубопроводи. Проаналізовано вплив швидкості нанесення захисного покриття на якість проведення роботи.*

*АННОТАЦИЯ. Рассмотрены существующие методы нанесения защитного покрытия на магистральные трубопроводы. Проанализировано влияние скорости нанесения защитного покрытия на качество проведения работы.*

*ANNOTATION. The existent methods of causing of sheeting are considered on main pipelines. Influence of speed of causing of sheeting is analysed on quality of lead through of work.*

**Актуальність проблеми.** Одним із основних факторів, що впливають на стан магістральних трубопроводів, є корозія металу. Діагностування трубопроводів показує, що найбільш значні пошкодження матеріалу труб виникають внаслідок невідповідного стану ізоляційного покриття. Тому рішення проблеми розробки ефективного обладнання для нанесення ізоляційного покриття є задачею актуальною.

**Огляд та аналіз результатів досліджень.** Наприкінці минулого століття розпочалася заміна трасового метода нанесення бітумно-мастичних захисних покриттів нафтогазових трубопроводів [1,2] на заводський [3]. При цьому технологія нанесення передбачала: обезжирення зовнішньої поверхні труби, нагрівання її до 50-70 градусів Цельсія, дробоструминну (дробометну) обробку, нанесення хроматного шару, індукційне нагрівання до 190-220 градусів Цельсія, нанесення епоксидного покриття, нанесення адгезиву і поліетилену за допомогою екструдерів. В подальшому і по сьогоднішній день проводиться удосконалення зазначеної технології шляхом застосування нових типів ізолюючих, в тому числі рулонних, матеріалів, арміруючих стрічок, тощо. Це дозволило спростити технологію, а також підвищити продуктивність і ефективність обладнання. Отриманий досвід при заводському нанесенні захисних покриттів труб був перенесений на технологію з відновлення застарілої ізоляції існуючих магістральних трубопроводів [4], що дозволило підвищити продуктивність, а також виконувати роботи при низьких, до -20 градусів Цельсія, температурах [5]. Останнім часом широкого використання набули технологічні процеси капітального ремонту трубопроводів із застосуванням полімерних ізоляційних матеріалів прискореного затвердіння (поліуретанових сумішей) [6], що наносяться безповітряним розпилюванням. Поліуретанові покриття мають ряд переваг перед бітумними і стрічковими покриттями: високу адгезію, суцільність, міцність при ударі, тривалий термін експлуатації без зниження ізолюючих властивостей. Нанесення покриттів шляхом безповітряного розпилювання потребує простішого обладнання, яке при цьому забезпечує вищу продуктивність і може використовуватись для очищення трубопроводів [1].

Агрегати [7] для виконання операцій з відновлення бітумних покриттів, які у випадку очищення трубопроводу мають раму з розміщеним на ній ходовим механізмом, у передній частині якої (по ходу пересування агрегату вздовж трубопроводу) встановлені ротори з елементами очищення, при цьому ротори обертаються навколо трубопроводу у протилежні сторони з можливістю створення курсової стійкості руху агрегату і забезпечення гвинтового руху елементів очищення по поверхні трубопроводу, а у випадку ізоляції трубопроводу - використовується кільце, яке «одягається» на трубу та виконане у вигляді гіперболоїда і занурене нижньою частиною в ємність з рідким ізоляційним матеріалом з можливістю подання рідини на поверхню труби. Така конструкція кільця

дозволяє йому самовстановлюватися під деяким кутом до поздовжньої осі трубопроводу, що, в свою чергу, забезпечує збіг прямолінійної твірної кільця з твірної трубопроводу, тобто збіг ліній прилягання цих поверхонь у процесі нанесення ізоляційного матеріалу на поверхню трубопроводу. При цьому даний процес використовується шляхом перекошування кільця по зовнішній поверхні трубопроводу, що дозволяє йому описувати гвинтову лінію і наносити своєю внутрішньою поверхнею матеріал покриття по всій довжині лінії прилягання.

Нанесення рулонних захисних покриттів виконується за допомогою агрегатів [8], які, в порівнянні з попередніми, мають простішу кінематичну схему робочого органу (рис.1), вищу продуктивність і кращу якість захисного покриття. Загальна конструктивна особливість розглянутих вище агрегатів [7,8] – обертання робочого органу в одному напрямку. Найближчим по технічній суті до сучасного агрегату, який було створено в Україні, є запатентований в США [9] і виготовлений на фірмі CRC-Evans агрегат моделі CRCO 2636, який складається з механізму поздовжнього переміщення і механізму осциляції розпилювачів з їх поворотом на заданий кут і з поверненням у початкове положення, причому механізм осциляції виконаний у вигляді ротора з розпилювачами і системи ланцюгових передач та має пристрій переведення тримачів розпилювачів з ведучої ланки ланцюгової передачі до веденої, що забезпечує переведення механізму на



Рисунок 1. Агрегат ізоляційний роторний типу МИР для нанесення на зовнішню поверхню трубопроводу захисних стрічкових полімерних матеріалів з одночасним прикочуванням внутрішніх шарів покриття.

реверсивний рух. Конструктивні особливості цього пристрою обумовлюють значні ударні навантаження на ланцюгову передачу та значний час реверсу розпилювачів, а відтак - зайві витрати поліуретанової суміші.

Необхідно відмітити, що з 2003-2004 рр. в Україні, в Інституті транспортно-енергетичних систем України (ІТЕСУ) «Нафтогазбудізоляція», розпочались роботи по заміні згаданого вище приводу робочого органу (розпилювача) на електричний з частотним регулятором швидкості. Така заміна дозволила частково зменшити коливання кутової швидкості обертової частини агрегату, а також ударні навантаження на її ланцюгову передачу при реверсі. При цьому непродуктивні втрати поліуретанової суміші, пов'язані з нерівномірністю нанесення захисного покриття, зменшились до 22–23% від їх загальних втрат.

За даними розробника агрегатів МТУ витрати на поліуретанову суміш складають в середньому 26% від вартості відновленого покриття. Так, на відновлення 1 кілометру трубопроводу діаметром 1220 мм з гарантованою товщиною покриття 1,5 мм витрачається 17500 кілограмів поліуретанової суміші вартістю 10-12 \$/кг, при цьому загальні непродуктивні втрати поліуретану сягають 37%. Частина втрат (близько 11%) обумовлена нерівномірністю товщини захисного покриття, при цьому її мінімально-



допустима величина в Україні і Росії дорівнює 0,7-2,0 мм, а максимальна – залежить від якості обладнання по відновленню покриття і сягає 1,2-2,8 мм.

Важливим елементом аналізу є оцінка роботи приводів робочих органів та процесів формоутворення захисного покриття, нанесеного шляхом безповітряного розпилювання

В загальному випадку нанесення покриттів шляхом розпилювання рідких матеріалів виконується кількома способами: повітряним, безповітряним (гідравлічним), комбінованим (гідравлічним з повітряною підтримкою факела), а також електростатичним та ультразвуковим. Вибір способу розпилювання залежить від вимог до зовнішнього вигляду покриття, складності форми поверхні, на яку воно наноситься, типу матеріалу покриття, необхідної продуктивності та вартості всього технологічного процесу підготовки поверхні і нанесення покриття.

Найбільш придатним для нанесення поліуретанових покриттів при переізоляції магістральних трубопроводів виявився безповітряний спосіб розпилювання, оскільки він характеризується найбільшим масопереносом, різкоокресленим відбитком факела розпилювача, а невисока естетична якість поверхні покриття при цьому не вимагається.

Застосування технології безповітряного розпилювання поліуретанових сумішей з однієї сторони підвищує продуктивність всього Комплексу з відновлення захисних покриттів магістральних трубопроводів, а з другої, внаслідок значної вартості сировини, підштовхує розробників обладнання до подальшого його удосконалення, з метою зменшення нерівномірності нанесення захисного покриття. Ефективність використання агрегатів для безповітряного розпилювання поліуретанових сумішей залежить від якості робочого органу та динамічних характеристик двох його приводів. Зменшення нерівномірності покриття вимагає підтримання постійної швидкості пересування і стабільності відбитка факела розпилювача на поверхні трубопроводу, тобто стабільності взаємодії робочого органу агрегату з будівельною конструкцією. Така вимога ускладнена тією обставиною, що пересування робочого органу навкруги трубопроводу виконується в зворотньо-обертovому режимі, з причини використання високоенергетичних струменів, які надходять до розпилювача по гнучких трубопроводах обмеженої довжини [10]. Використання в приводі обертovої частини агрегату асинхронного двигуна [11] з короткозамкненим ротором та частотного регулятора швидкості [12] дозволило:

- відмовитись від механічного пристрою регулювання швидкості обертання робочого органу завдяки широкому діапазону регулювання частоти;
- встановлювати час реверсу, а відтак регулювати ударні навантаження на ланцюгову передачу між асинхронним двигуном та обертovим кільцем з робочим органом;
- підтримувати задану швидкість робочого органу з похибкою від 3-4% до 0,03-0,05% залежно від режиму керування: скалярне або векторне; із зовнішнім зворотним зв'язком або без нього.

Окрім цього необхідно зазначити, що найнижчу електромеханічну постійну часу мають асинхронні двигуни [13] з пустотілим короткозамкненим немагнітним ротором: від 0,05 до 0,5 с, - а оптимальний коефіцієнт передачі механічної частини може визначатись згідно [14] трьома способами.

В роботі [15] наведено методику синтезу виду та параметрів передаточної функції електричної частини асинхронного двигуна, щорегулюється напругою з боку статора, вказані кількісні значення параметрів цієї передаточної функції в робочій зоні електродвигуна.

В роботах [16-17] наведено математичний опис (в т.ч. у вигляді структурної схеми) електроприводу з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти і розімкнутою системою керування швидкістю електропривода змінного струму.

Методологія вибору асинхронних двигунів та їх характеристики представлені в роботі [18].



Коригування швидкості робочого органу агрегату для нанесення захисних покриттів потребує використання додаткового приводу, оскільки подальше удосконалення існуючого приводу обмежене загальною інерційністю обертової частини агрегату (кільця з розпилювачами) та якоря асинхронного двигуна. Технічні вимоги до такого приводу визначаються з технічних можливостей існуючих агрегатів:

- можливість реалізації прецизійних обертових коливань робочого органу з незначною амплітудою;
- збільшена швидкодія до максимальної, особливо при реалізації реверсу робочого органу;
- можливість зменшення робочого діапазону швидкостей без використання механічних пристроїв, наприклад, редукторів;
- можливість керування швидкістю і кутом повороту якоря двигуна без використання зовнішніх зв'язків;
- наявність мало інерційного гальма якоря двигуна;
- повторюваність заданого закону керування на значному протязі часу.

Такий привід, на нашу думку, може бути реалізований за допомогою крокового електричного двигуна (КЕД) з програмованим блоком керування. Найбільше розповсюдження в країнах СНД знайшла продукція компанії «НПФ Электропривод» (м. Санкт-Петербург) [19].

#### **Висновки.**

1. В зв'язку із закінченням терміну експлуатації захисних покриттів існуючих нафтогазових мереж країн СНД, близько 70% магістральних трубопроводів підлягають переізоляції.

2. Переізоляція магістральних трубопроводів виконується за допомогою комплексів агрегатів і машин, що послідовно виконують операції з відновлення захисних покриттів. При цьому найбільш довготривалою в часі є операція з нанесення нового покриття, яка визначає продуктивність всього Комплексу.

3. Незважаючи на різноманітність матеріалів покриттів, агрегати для їх нанесення мають майже однакову кінематичну схему і відрізняються типом робочого органу: для укладання стрічкової ізоляції, або для розпилювання рідких захисних матеріалів.

4. На сьогоднішній день найбільш ефективним способом нанесення покриттів при переізоляції магістральних трубопроводів виявився безповітряний спосіб розпилювання поліуретанових сумішей, проте його нанесення виконується за умов плюсових температур оточуючого середовища.

5. Подальше удосконалення динамічних характеристик робочого органу вимагає підвищення його швидкодії і стабілізації швидкості. Однак таке удосконалення обмежене загальною інерційністю обертової частини агрегату (кільця з розпилювачами) та якоря асинхронного двигуна. Подолання цього обмеження можливе шляхом збільшення кількості ступенів свободи робочого органу.

6. Додаткова ступінь свободи робочого органу може бути реалізована за допомогою додаткового приводу з кроковим електричним двигуном, який в порівнянні з іншими, для поставленої задачі, має такі переваги: не потребує гальма і редуктора, має можливість подрібнення основного кроку, може працювати без зворотного зв'язку, тощо.

7. Зменшення нерівномірності товщини захисних покриттів потребує не тільки покращення динамічних характеристик робочого органу (розпилювача), але і експериментального визначення розподілу розходу поліуретанової суміші по поперечному перерізу факела розпилювача, а також структури витрат суміші на формоутворення захисного покриття.

8. Метою досліджень є створення агрегату з підвищеною ефективністю нанесення поліуретанових покриттів на магістральні трубопроводи із розробкою алгоритму вибору і



відпрацьовування програмного забезпечення роботи додаткового приводу розпилювача у складі удосконаленого агрегату.

### Література

1. Печенный Б.Г. Битумы и битумные композиции / Б.Г. Печенный. – М.: Химия, 1990. – 256 с..
2. Mulder E.A. Development of modified bitumen enamel pipe coating systems / E.A. Mulder, Soerensen M. // J. Prot. Coat and Linings. – 2001. – V. 18, № 7. – P. 50–54.
3. Семенченко В.К. Заводская изоляция труб [Электронный ресурс] / В.К. Семенченко, С.Г. Низьев, А.Л. Ронис., Ю.С. Низьева // Трубопроводный транспорт [Теория и практика]. – 2005. – № 2. – С. 59–65. – Режим доступа к журналу: [http://www.vniist.ru/pipemag/2005\\_2%282%29.pdf](http://www.vniist.ru/pipemag/2005_2%282%29.pdf)
4. Волохов В.Я. Оборудование для ремонта магистральных трубопроводов / В.Я. Волохов, А.К. Зайцев // Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ: сб. научн. тр. – Уфа, 2002. – С. 60–74.
5. Покрытие на основе термоусаживающейся ленты и мастики Асмол (покрытие ПАЛТ) [Электронный ресурс] / Исследовательский Центр «ПОИСК» // Каталог. – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://www.srcpoisk.ru/gorhol.html>.
6. Власов С.В. Организация капитального ремонта изоляционных покрытий магистральных газопроводов с использованием терморезистивных материалов / С.В. Власов, И.И. Губанок, А.В. Хороших // Обслуживание и ремонт газонефтепроводов: материалы Третьей Международной конференции: (2–7 октября 2006 г., Сочи) / ООО «Геоинформмарк». – Москва, 2007. – Вып. 1 – С. 189–193.
7. А.с. 1814934 СССР, МКИ <sup>3</sup>В 08 В 9/02. Устройство для очистки наружной поверхности трубопровода / опубл. 1993, Бюл. № 18. – 2 с.
8. А.с. 1717256 СССР, МКИ <sup>3</sup>В 05 С 1/02. Устройство для нанесения покрытий на цилиндрические поверхности / опубл. 1992, Бюл. № 9. – 2 с.
9. Pat. 5,129,355 USA. High pressure water jet cleaner and coating applicator / Sidney A. Taylor. – Publ. United States Patent, Jul. 14, 1992.
10. Трассовая установка для нанесения многокомпонентной изоляции. Модель СРСО 2636 / С R C – Evans Pipeline International Inc. // Рекламный проспект. – [Houston](#).
11. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячек – Минск.: Техноперспектива, 2006. – 364 с.
12. Преобразователи частоты для управления двигателями переменного тока [Электронный ресурс] / Кабель Инвест // Каталог оборудования – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://www.ci.kiev.ua/node/33>
13. Динамические свойства асинхронных исполнительных двигателей [Электронный ресурс] / TORUS // Теория. Электрические микромашины. Лекция 8 – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://normalizator.com/manuals/lessons/shishkin/lecture18.html>.
14. Зарубежная методика выбора мотор-редуктора. [Электронный ресурс] / Приводная техника // Полезная информация. – 2011. – С. 1. – Режим доступа: [http://www.privod.ru/products/motor\\_reducers/rd/choose.htm](http://www.privod.ru/products/motor_reducers/rd/choose.htm).
15. Мазур А.С. Синтез передаточной функции асинхронного двигателя [Электронный ресурс] / Электромашиностроение и электрооборудование // Межвед. Науч.-техн. сборник – Одесса: ОГПУ, 2008. – С. 1–4. – Режим доступа: [http://www.library.ospu.odessa.ua/online/periodic/ee\\_55/3.html](http://www.library.ospu.odessa.ua/online/periodic/ee_55/3.html)
16. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 265 с.
17. Попович О.М. Моделі та методи для комплексного дослідження та проектування електромеханічних систем / О.М. Попович, О.В. Бібік, Ю.В. Шуруб, І.В. Головань // Пр. Інституту електродинаміки НАН України. – 2006. – № 2. – С. 68 – 71.
18. Войтех О.А. Вибір та адаптація серійних асинхронних двигунів для роботи від джерел регулюємої частоти / О.А. Войтех, О.М. Попович // Пр. Інституту електродинаміки НАН України. – 2003. – № 3. – С. 34 – 39.
19. Компания «НПФ Электропривод» - один из лидеров в области поставок промышленных электродвигателей и приводов [Электронный ресурс] / «НПФ Электропривод» // Публикации – 2002–2011. – С. 1 – Режим доступа: [http://electroprivod.ru/about\\_us.htm](http://electroprivod.ru/about_us.htm)

## Технологія і організація виробництва

УДК 691.32

А.В. Голубничий к.т.н доц. КНУБА

### ЦЕМЕНТИ З ЗАЛІЗОВМІСНИМИ ШЛАКАМИ ДЛЯ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИСОКОГІР'Я КАРПАТ

*АНОТАЦІЯ. Наведені результати досліджень цементів з залізовмісними кольоровими шлаками.  
Ключові слова: цементи, кольорові шлаки.*

*АНОТАЦІЯ. Приведены результаты исследований цементов с железосодержащими цветными шлаками.*

*Ключевые слова: цементы, цветные шлаки.*

*SUMMARY. The results of researches of cement with the iron by containing a color slag is resulted.  
Key words. cement, color slag.*

**Вступ.** Спорудження монолітних залізобетонних конструкцій у високогір'ї Карпат відбувається у інших умовах, ніж на рівнині. Так якщо на відмітках +200м і нижче температура навколишнього середовища у зимовий період коливається у межах  $-5...-10^{\circ}\text{C}$ , а швидкість вітру –  $5...10\text{м/с}$ , то на відмітках +1000 м і вище ці показники відповідно змінюються у межах  $-10...-15^{\circ}\text{C}$  і нижче,  $10...15\text{ м/с}$  і більше. Також відрізняється відносна вологість повітря. Відмінності у параметрах навколишнього середовища на рівнині і високогір'ї спостерігаються і у літній період. Це призводить до того, що швидкість зростання міцності бетону монолітних залізобетонних конструкцій, а особливо колон, фундаментних плит і плит перекриття, що споруджуються в умовах високогір'я суттєво нижче, ніж на рівнині. Це обумовлює необхідність проведення спеціальних робіт по інтенсифікації твердіння бетону безпосередньо на будівельному майданчику (електричний прогрів, спорудження тепляків) [1], застосування вихідних складових бетонів, у тому числі цементів, нормованих складів.

Прогнозування властивостей цементів розглянуто у багатьох наукових роботах. З цією метою використовували штучно-синтезовані клінкерні мінерали [2, 3]. Але при цьому спостерігались значні розбіжності між фактичними величинами показників властивостей цементів і такими, що отримані розрахунковим шляхом із використанням даних іспитів цих мінералів [4].

У зв'язку з чим проблема прогнозування властивостей цементів залишається актуальною.

**Метою роботи** є розробка складів цементів із застосуванням залізовмісних шлаків для монолітних залізобетонних конструкцій, які споруджуються в умовах високогір'я Карпат.

**Головним завданням** цієї роботи є встановлення діючих величин показників властивостей клінкерних мінералів з метою розробки складів цементів з застосуванням залізовмісних речовин для монолітних конструкцій високогір'я Карпат.

Дослідження виконані по стандартним методикам.

Хімічний склад застосованих при проведенні досліджень кольорових шлаків наведено у табл.1, а мінеральний склад портландцементних клінкерів – табл.2.

Величини показників властивостей мінералів промислових клінкерів і цементів визначені при їх питомій поверхні –  $300\text{ м}^2/\text{кг}$ . Закономірності змін властивостей цементів з портландцементним клінкером і кольоровими шлаками визначали при змінах у них вмісту останніх у межах  $0...50\text{ мас.}\%$ .

**Виклад основного матеріалу.** Першим етапом цих досліджень було визначення величин показників властивостей мінералів промислових клінкерів. Мінеральний склад останніх наведено у табл.2.

Необхідно відмітити, що портландцементний клінкер являє собою складну багатофазну



систему, виділити із якої окремі складові дуже важко. Тому для прогнозування його властивостей застосовують штучно синтезовані мінерали [2]. Але при цьому спостерігається значні розбіжності між фактичними величинами показників властивостей портландцементів без добавок і такими, що отримані розрахунковим шляхом із використанням даних іспитів штучно синтезованих моно мінералів клінкеру.

Величини показників властивостей мінералів промислових клінкерів визначені розрахунково-експериментальним шляхом з використанням результатів іспитів клінкерів обортових печей однакового типорозміру (5x185м) з добавкою 5% гіпсового каменю.

Таблиця 1

Таблиця 2

## хімічний склад кольорових шлаків

№ п/п	Вид шлаків	Вміст основних оксидів, мас. %				
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO
1	Побужський	51.95	6.65	11.60	22.85	6.55
2	Северонікелю	41.05	7.65	25.60	15.35	7.95
3	Константинівський	29.95	8.25	31.80	13.85	8.10

Примітка: вміст Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, мас. %: 0.90 (шлак №2), 1.65 (шлак №3)

## Мінеральний склад клінкерів

№ п/п	Вид клінкеру	Мінеральний склад, мас. %			
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
1	Амвросіївський	57.00	25.00	4.40	11.06
2	Кам'янець-Подільський	58.00	17.00	8.20	13.00
3	Балаклійський	66.00	14.00	5.81	12.39
4	Ольшанський	58.85	17.68	6.41	13.69

Близькість хімічних складів сировинних компонентів і їх структур, однотипність технологічних схем переробки дають підставу припускати, що відмінності величин показників властивостей портландцементів однакової дисперсності на таких клінкерах будуть обумовлені у прямо пропорційній залежності тільки різницею у кількісному вмісті C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A і C<sub>4</sub>AF у останніх.

Розрахунково-експериментальні величини показників властивостей (міцність при згині і стиску після 3-х і 28 діб твердіння у нормальних умовах і тепло-вологої обробки по режиму 3+6+2 з температурою ізотермічного прогріву 353±5 К, нормальної густини цементного тіста, строків тужавлення, водопотреби стандартних цементно-піщаних розчинів) встановлені внаслідок вирішення 10 систем із 4-х лінійних рівнянь у кожній. Останні вміщували у якості незалежних перемінних розрахунково-експериментальні величини відповідних показників властивостей, а у якості функції – величини аналогічних показників властивостей портландцементів без добавок, які визначені по стандартним методикам. Так наприклад, система рівнянь для визначення розрахунково-експериментальних величин початку тужавлення цементного тіста кожного із промислових клінкерних мінералів має наступний вигляд:

$$57.00C_3S + 25.00C_2S + 4.40C_3A + 11.06C_4AF = 180$$

$$66.00C_3S + 14.00C_2S + 5.81C_3A + 12.39C_4AF = 175$$

$$58.00C_3S + 17.00C_2S + 8.20C_3A + 13.00C_4AF = 165$$

$$58.85C_3S + 17.68C_2S + 6.41C_3A + 13.68C_4AF = 170$$

Отримані дані свідчать про те, що на прискорення строків тужавлення, підвищення нормальної густини цементного тіста і водопотреби стандартних цементно-піщаних розчинів мінерали промислових клінкерів впливають у такій послідовності: C<sub>3</sub>A > C<sub>4</sub>AF > C<sub>3</sub>S > C<sub>2</sub>S (табл. 4).

По впливу на підвищення міцності цементного каменю при стиску після його твердіння в нормальних умовах на протязі 3-х і 28 діб мінерали промислових клінкерів розташовуються у такій послідовності: C<sub>3</sub>S > C<sub>3</sub>A > C<sub>4</sub>AF > C<sub>2</sub>S, а після ТВО: C<sub>3</sub>S > C<sub>2</sub>S > C<sub>4</sub>AF > C<sub>3</sub>A. У цементного каменю на алюмінатах і алюмоферитах кальцію, після його твердіння в умовах ТВО, міцність як при стиску, так і при згині нижче, ніж після його

твердіння на протязі 3-х діб у нормальних умовах. Штучно синтезовані мінерали підвищують міцність цементного каменю при стиску, після твердіння у нормальних умовах на протязі 28 діб, у такій послідовності:  $C_3S > C_4AF > C_2S > C_3A$ . Причому міцність каменю на штучно синтезованих мінералах менша, ніж на промислових, а на штучному  $C_3A$  - зовсім незначна [2].

Порівняння розрахунково експериментальних величин міцності цементного каменю при стиску із мінералів промислових клінкерів і гіпсу з такими із штучно синтезованих мінералів свідчать про вищу гідратаційну активність перших.

Це пояснюється легуючим впливом на мінералоутворення при випалюванні промислових клінкерів оксидів магнію й інших елементів, а також відмінностями у способах приготування і випалювання сировинних сумішей у промислових умовах і при синтезі штучних мінералів.

Таблиця 3  
Фізико-механічні властивості  
портландцементів на промислових клінкерах

Вид клінкеру (табл.2)	Строки тужав- лення, год-хв	Міцність при згині-стиску, МПа після твердіння в умовах		
		нормальних, діб		ТВО (3+6 +2) при 353К
		початок	кінець	
№1	3.00	4.49	6.60	4.96
	4.35	27.6	49.9	33.5
№2	2.55	5.07	7.00	5.34
	4.20	30.7	52.3	35.7
№3	2.45	5.04	7.00	5.08
	4.10	29.1	50.3	33.2
№4	2.50	4.92	6.90	5.09
	4.15	29.0	50.4	33.6

Примітки: нормальна густина у цементів 1, 2, 3, 4 відповідно складала, %: 24.6, 25.2, 25.0, 24.9; В/Ц – 0.390, 0.395, 0.390, 0.390.

Таблиця 4  
Розрахунково-експериментальні величини  
показників властивостей клінкерних мінералів

№ п/п	Вид міне- ралу	Стро- ки тужав- лення, хв	Міцність при згині- стиску, МПа після твердіння в умовах		
			Нормальних, діб		ТВО (3+6 +2) при 353К
			початок	кінець	
1	$C_3S$	209	5.04	6.67	6.19
		288	36.2	58.3	44.7
2	$C_2S$	224	1.26	4.70	2.82
		387	9.2	37.9	21.1
3	$C_3A$	30	12.26	14.0	5.19
		36	35.4	52.6	14.4
4	$C_4AF$	36	6.92	9.10	4.47
		86	28.0	44.0	19.3

Примітки: нормальна густина у цементів 1, 2, 3, 4 відповідно складала, %: 24.5, 23, 36.0, 30; В/Ц – 0.40, 0.38, 0.43, 0.42.

При дослідженні властивостей цементів з застосуванням залізовмісних кольорових шлаків визначено, що при зростанні у останніх концентрації оксидів заліза, у тому числі FeO, має місце подовження строків початку і кінця тужавлення цементного тіста нормальної густини. Що особливо спостерігається при її збільшенні вище за 30 мас.%. і при зменшенні у останніх концентрації  $SiO_2$  нижче за 35 мас.%. Це пов'язано з послабленням когезійної взаємодії у цементному тісті у початковий період твердіння.

Міцність цементних каменів складним чином пов'язана з умовами і тривалістю їх твердіння, вмістом у цементах залізовмісних речовин. Так після твердіння цементних каменів на протязі 3 діб у нормальних умовах їх міцність, при збільшенні у складі цементів вмісту кольорових шлаків від 5 до 50 мас.%, змінюється зворотно. При чому після збільшення вмісту кольорових шлаків вище за 20 мас.% залежність між міцністю і вмістом у цементах кольорових шлаків носять близький до прямо-пропорційного характер. Це підтверджує те, що стекла, які входять до складу цих залізовмісних речовин не значно активуються продуктами гідратації портландцементного клінкеру при температурі 293К на протязі 3 діб.



У цементних каменях після ТВО спостерігаються криволінійні залежності між показниками їх міцності і вмістом у цементах кольорових шлаків. Це свідчить про те, що силікатні і алюмосилікатні стекла шлаків у таких умовах твердіння цементних каменів активуються і виявляють в'язучі властивості.

Подібні залежності між вмістами у цементах кольорових шлаків і показниками міцності цементних каменів спостерігається і після 28 діб твердіння останніх у нормальних умовах.

Міцність цементних каменів після їх твердіння на протязі 28 діб тільки у нормальних умовах або спочатку при ТВО, а потім у нормальних умовах загалом збільшується при зворотних змінах концентрацій оксидів заліза у залізовмісних речовинах цементів. Це спостерігається при зростанні концентрації таких оксидів, у тому числі FeO, у кольорових шлаках вище за 30 мас.%. Показник підвищується при наближенні складів кольорових шлаків до кристалічних фаз у ряду  $CF'S_2 > CF'S > F'S > F_2'S$ .

Особливостями хімічного складу гранульованих шлаків кольорової металургії, які відрізняють їх від більшості силікатної і алюмосилікатної техногенної сировини, яка використовується при виробництві цементів загально-будівельного призначення, є підвищений вміст оксиду двовалентного заліза, а фазового – склоподібних фаз [5, 6]. Ці відмінності цих шлаків впливають на властивості таких цементів крізь зміни у продуктах їх гідратації вмісту гідросилікатів кальцію.

Отримані результати досліджень непрямо свідчать про те, що у нормальних умовах твердіння FeO у залізовмісних стеках, близький порядок структур яких наближується до таких у піроксенів (геденбергіту, діопсиду), фаяліту, залізистих монтічеліту і акерманіту і однойменних кристалічних фазах, є стійким. Не спостерігається його перетворення у оксиди тривалентного заліза і їх сполуки.

Таблиця 5

Залежність характеристик цементного тіста і каменю від виду шлаків, складу цементів.

№ п/ п	Строки тужавлення, год., хв. <u>поча-ток</u> кі-нець	Міцність при згині/стиску, МПа			
		нормальне твердіння, діб		ТВО	ТВО+ 28 діб норм. тверд.
		3	28		
1	4.15	2.92	5.08	3.38	5.33
	6.10	18.1	32.6	21.0	35.0
2	4.25	2.84	5.02	3.29	5.25
	6.20	17.6	31.9	20.3	34.2
3	4.30	2.74	4.93	3.20	5.15
	6.25	17.1	31.1	19.8	33.3
4	3.05	3.88	5.97	4.59	6.18
	4.45	24.0	42.1	28.5	45.9
5	3.15	3.76	5.91	4.42	6.11
	4.55	23.2	41.1	27.5	44.7
Примітки*					

\* Склад цементів, мас.‰: клінкер Кам'янець - Подільського ЦЗ - 58 (№1...№3), 78(№4, 5); залізовмісний гранульований шлак - 38 (№1(1), №2(2), №3(3)), - 18 (№4(1), 5(3)); дво водний гіпс - 4 (№1...№5); питома поверхня цементів - 300 м<sup>2</sup>. Вид застосованих шлаків відповідно: №1 - 1, №2 - 2, №3 - 3, №4 - 1, № 5 - 3 (табл.1). ТВО цементних каменів проводили по режиму 3+6+2 з температурою ізотермічного прогріву  $T_{із}=353K$ . В/Ц розчинів складу 1:3 на вольському піску дорівнювало 0.40. Нормальна густина у цементів 1, 2, 3, 4, 5 відповідно складала,‰: 25.4, 25.6, 25.7, 25.3, 25.5; розлив конусу, мм: 112, 112, 111, 111, 110.

Таблиця 6

Теплота гідратації цементів з застосуванням залізовмісних речовин.

№ п/п	Тривалість гідратації, діб.				
	3	7	28	90	360
Теплота гідратації, кДж/кг					
1	179	217	260	295	327
2	174	210	253	284	314
3	168	203	246	273	301
4	235	283	334	368	398
5	224	273	323	355	386
Примітка: склад цементів відповідав наведеним у табл. 5.					

Залежність тепловиділення при гідратації цементів від тривалості їх хімічної взаємодії з водою подібна такій, що характеризує зміни у гідратованих цементах вмісту хімічно зв'язаної води. Відмінності полягають у тому, що після 90 і більше діб гідратації цементів з застосованими залізовмісними речовинами, тепловиділення підвищується у значно меншій мірі, ніж кількість хімічно зв'язаної води. Це непрямо свідчить про те, що після такого терміну хімічної взаємодії цих цементів з водою на процеси їх гідратації починають суттєво впливати реакції між  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і стеклами шлаків, теплові ефекти яких значно менші, ніж при гідратації клінкерних мінералів.

При визначених складах цементів, термінів і умов їх гідратації кількість виділеної теплоти при застосуванні залізовмісних речовин, склади яких наближується до кристалічних фаз розташованих в елементарному трикутнику "S –  $\text{CF'S}_2$  – CS" більша, ніж з використанням таких, склади яких наближуються до кристалічних фаз розташованих в елементарних трикутниках "F'S –  $\text{CF'S}_2$  – S", "F'S –  $\text{CF'S}_2$  –  $\text{F}'_2\text{S}$ ", " $\text{F}'_2\text{S}$  –  $\text{CF'S}_2$  –  $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ", " $\text{F}'_2\text{S}$  –  $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$  –  $\text{CF'S}$ ". Кількість виділеної теплоти при гідратації цементів змінюється при наближенні складів залізовмісних шлаків до кристалічних фаз у такому ряду:  $\text{CS} > \text{S} > \text{CF'S}_2 > \text{CF'S} > \text{F'S} > \text{F}'_2\text{S}$ . За впливом на підвищення тепловиділення при гідратації цементів з застосованими техногенними залізовмісними шлаками оксиди системи "FeO – CaO –  $\text{SiO}_2$ " розташовуються у ряду: "CaO >  $\text{SiO}_2$  > FeO".

#### **Висновки.**

1. Розроблений цемент з введенням до 20 мас.% залізовмісних кольорових шлаків з концентрацією оксидів заліза не вище за 30 мас.% по міцності при стиску після 28 діб твердіння у нормальних умовах характеризується маркою по міцності при стиску М400 і відноситься до цементів ПЦ II/A-III.
2. Розроблений цемент має суттєве тепловиділення і може бути застосований при будівництві монолітних залізобетонних конструкцій в умовах високогір'я Карпат.
3. Міцність цементних каменів на цементах з клінкерами цементних підприємств України з введенням до 20 мас.% залізовмісних кольорових шлаків і питомій поверхні у межах 300...350  $\text{м}^2/\text{кг}$  суттєво підвищується у перші 3...7 діб їх твердіння. Аналогічно змінюються і міцність бетону у монолітних залізобетонних конструкціях.
4. Тепловиділення при гідратації цементів з введенням до 20 мас.% залізовмісних кольорових шлаків суттєво підвищується у перші 3...14 діб. Аналогічно змінюються і тепловиділення бетону у монолітних залізобетонних конструкціях.

#### *Література*

1. Атаев С.С. Индустриальная технология строительства из монолитного бетона. – М.: Стройиздат, 1989 г.- 336 с.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Высш. шк., 1980. – 472с.
3. Вяжущие материалы /А.А. Пашенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – К.: Вища шк.,1985.-440 с.
4. Шейн В.И., Будегдег К., Щеткина Т.Ю. Термодинамическая модель синтеза портландцементного клинкера.//Цемент и его применение.-2001.-№6.-С.20-24.
5. Шелудяков Л.Н., Косьянов Э.А. Комплексная переработка шлаков цветной металлургии. - Алма-Ата: Наука, 1990. - 168 с.
6. Лакерник М.М., Мазурчук Э.Н., Петкер С.Я., Шабалина Р.И. Переработка шлаков цветной металлургии.- М.: Металлургия, 1977.- 160с.



УДК 69.003.658

І.С. Нестеренко, канд. техн. наук, доцент

## ОСНОВНІ ЧИННИКИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ВАРТІСТЬ ЗЕМЛІ

*АННОТАЦІЯ.* Наведено основні чинники, які впливають на вартість землі, дана їх характеристика. Врахування різних факторів впливу при визначенні вартості землі дає можливість отримати реальну ціну як найбільш ефективного використання.

*Ключові слова:* земля, вартість землі, нерухомість, земельна ділянка, земельна рента, ринкові відносини, ефективне використання землі, місце розташування землі, фінансове обґрунтування, ринковий попит, ресурсна якість ділянки, технологічне обґрунтування.

*АННОТАЦИЯ.* Приведены основные факторы, которые влияют на стоимость земли, дана их характеристика. Учитывая разные факторы влияния при определении стоимости земли, дает возможность получить реальную цену как наиболее эффективного использования.

*Ключевые слова:* земля, стоимость земли, недвижимость, земельный участок, земельная рента, рыночные отношения, эффективное использование земли, место расположения земли, рыночный спрос, ресурсное качество земли, технологическое обоснование.

*ANNOTATION.* Basic factors which influence on the cost of earth are resulted, their description is given. Taking into account the different factors of influence at determination of cost of earth enables to get the real price as most the effective uses.

*Key words:* earth, cost of earth, real estate, lot land, land rent, market relations, effective of the use of earth, place of location of earth, market demand, resource quality of earth, technological ground.

**Актуальність теми.** Земельна власність громадян сьогодні продовжує існувати поза практикою оцінки, це пов'язано перш за все з відсутністю в нашій державі цілісної і загальнопризної концепції нерухомості, із якої в силу історичних обставин була виключена земля – першооснова будь-якої нерухомості. Сьогоднішня трактовка нерухомості як об'єкту оцінки носить обмежений характер, що не враховує такий важливий компонент, яким являється земля. За землею стійко зберігається статус природного ресурсу, користування яким хоч і носить платний характер, але базою для оцінки повинна бути не реальна її вартість, а сума прямих і побічних витрат, пов'язаних з оформленням документів права користування або власності земельної ділянки.

В дійсності вартість земельної власності визначається корисністю земельної ділянки: її доступністю, рівнем облаштування і характером використання, які забезпечують власнику землі чи землекористувачу економію коштів і часу, і як наслідок, отримання додаткового прибутку – земельної ренти. Можливість отримання цього прибутку і визначає цінність земельної власності, робить її об'єктом ринкових відносин, а значить і об'єктом оцінки.

**Методика та результати досліджень.** Теоретичною основою досліджень оцінки вартості землі являється принцип кращого і найбільш ефективного використання. «Таке використання, вибране серед розумних, можливих і законних альтернативних варіантів, яке являється фізично можливим, достатньо обґрунтованим і фінансово доступним і приводить до найвищої вартості землі» [1].

Варіант найбільш ефективного використання землі визначається взаємодією ряду факторів, які приведені на рис. 1.

Місце розташування землі має велике значення і являється основним фактором, який впливає на її вартість. Важливою характеристикою земельної ділянки являється те, яким чином вона відповідає переважному в даному районі типу землекористування та її доступність. Якщо доступність до ділянки складна, то і користь її невелика.

Аналіз ринкового попиту проводиться для того, щоб визначити доцільність використання земельної ділянки з точки зору ефективного використання земельної ділянки.



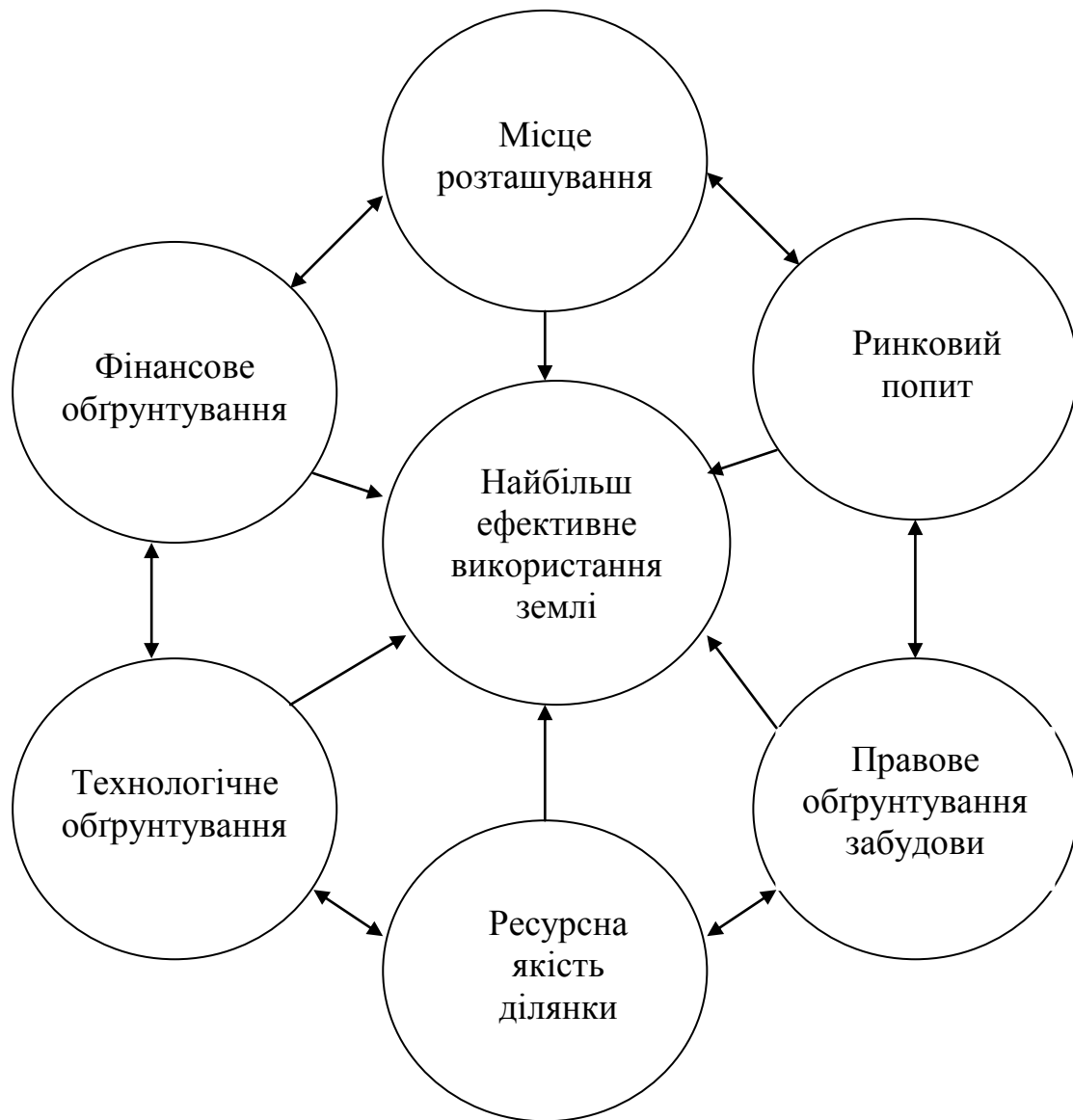


Рисунок 1. Фактори, які визначають варіант найбільш ефективного використання землі.

Ринковий аналіз може бути поділений на чотири функціональні задачі: польовий аналіз, кількісний аналіз, якісний аналіз і синтез. Головне завдання полягає у визначенні таких факторів попиту і пропозицій, які впливають на вартість конкретного варіанта землекористування. В ході ринкового аналізу виявляються конкуруючі об'єкти, описуються і оцінюються їх переваги та інші характеристики.

Уважно вивчається правове обґрунтування забудови і обмеження, пов'язані з реалізацією даного об'єкта. До обмежень відносяться: правила зонування, закони по охороні довкілля, вимоги до планування та будівництва. Крім цього аналізуються різні види податків та їх тенденції, нормативи енерго- та газопостачання і таке інше.

Ресурсна якість земельної ділянки функціонально пов'язана з її ємкістю і ефективністю в поєднанні з іншими факторами виробництва. Ємкість являється показником того, скільки факторів може бути використано до ділянки. При вивченні ресурсної якості ділянки визначається на скільки вона може бути використана фізично і які існують фізичні обмеження на різні варіанти забудови. Для цього проводяться обстеження ділянки з метою вивчення її форми, розмірів, рельєфу, можливість підтоплення і таке інше.



Технологічне обґрунтування проекту визначається його реалізацією в межах установленого терміну при умові досягнення відповідності між вартістю і якістю будівництва.

Фінансове обґрунтування полягає у перевірці проекту щодо забезпечення грошового потоку в достатній кількості, необхідної якості і тривалості, що дозволить інвесторам повернути вкладений капітал і отримати необхідну і очікувану ним ставку доходу.

Для оцінки ринкової вартості земельної ділянки можливо використовувати такі моделі:

- метод порівнювання продаж;
- метод розподілу;
- метод виділення;
- метод розбивки (розподілу) на ділянки;
- метод залишку для землі;
- капіталізація земельної орендної плати.

Всі зазначені методи ґрунтуються на трьох базисних підходах до оцінки вартості. Метод порівнювання продаж і метод капіталізації доходу земельної орендної плати можуть прямо використовуватись до оцінки вартості землі. Розподіл і виділення оснований на витраченому методі і методі порівняння продаж. Метод залишку для землі ґрунтується на витраченому методі і методі капіталізації доходу. Метод розбивки на ділянки базується на всіх трьох підходах оцінки нерухомості.

Метод порівняння продаж. При наявності необхідної інформації метод порівняння продаж являється найкращим. Після збору ринкової інформації і вибору одиниці порівняння ціни продаж, порівнюваних земельних ділянок, проводиться коригування за такими елементами порівнянь: право власності, умови фінансування, умови продажу, умови ринку, місце розташування, фізичні характеристики, доступні комунальні послуги, умови зонування, найбільш ефективного використання.

Оцінку землі можна проводити за порівняннями декількох елементів, коригуючи вартість кожного з них і отримуючи в кінці декілька значень вартості, які визначають діапазон вартості.

Метод розподілу ґрунтується на принципі балансу або внеску, який підтверджує, що для кожного типу нерухомості існує нормальне співвідношення між вартістю землі і вартістю будівель. Найбільш достовірне таке співвідношення для нових поліпшень, які відображають найкраще використання землі. Зі збільшенням віку будівель відношення вартості землі до загальної вартості власності збільшується. Даний метод не дає точного значення ринкової вартості, але він може використовуватися для наближеної оцінки в умовах недостатньої інформації про продаж вільних ділянок землі.

Метод виділення є різновидом методу розподілу. Вартість землі виділяється із вартості власності вилученням вартості поліпшена з урахуванням її зносу. Цей метод пропонується тільки для оцінки недавно побудованої нерухомості, для якої внесок поліпшень малий і легко визначається. В інших випадках метод виділення не дозволяє отримати величину, яка визначає ринкову вартість землі.

Метод розбивки на ділянки використовується у випадках, коли земельна ділянка має велику площу і така розбивка дає найбільш ефективного використання землі. При цьому ціну продажу окремої ділянки можна визначити методом порівняння продаж. Першим кроком метода розбивки являється визначення кількості і розмірів ділянок, виходячи із фізичних і юридичних можливостей та економічної доцільності. Наступний крок – визначення потенціальної виручки від продажу або здачі в оренду підготовлених ділянок. Основою для розрахунку являється вартість однієї ділянки, яка може визначитися методом порівняння продаж з урахуванням коригування на відмінність. Вартість земельного масиву визначається чистою виручкою від продаж, тобто різницею між потенціальною виручкою від продаж і сумою всіх витрат на поліпшення і влаштування ділянок.

Витрати на поліпшення включають: витрати на розбивку і планування ділянок; витрати на будівництво шляхів, інженерних мереж, дренажу тощо; податки, страховка, гонорари; витрати на маркетинг; прибуток і накладні витрати підрядчика; прибуток підприємця.

Освоєння території займає деякий час і виручка від продаж поступає не одночасно, а тому дійсна вартість земельного масиву визначається дисконтуванням потоку чистої виручки від продаж з урахуванням періодичності надходжень і передбаченої норми віддачі проекту.

Метод залишку використовується для визначення вартості земельної ділянки при наявності таких даних:

- вартість будівлі;
- чистий операційний прибуток всієї власності;
- коефіцієнт капіталізації для землі і будівель.

Вартість будівлі може бути визначена як для нового або об'єкту що проектується, який представляє найбільш ефективне використання.

Використання даного методу проводиться у такій послідовності: визначаються поліпшення, які дають ефективне використання; на основі ринкової ренти і передбачених операційних витрат визначається чистий операційний прибуток всієї власності; визначається частина чистого операційного доходу, що відноситься до будівлі; визначається вартість землі шляхом капіталізації частини доходу, який відноситься до землі.

Капіталізація земельної орендної плати. Земельна орендна плата – це сума, отримана за право користуватися земельною ділянкою і відповідає зацікавленості землевласника в землі. Як регулярний потік прибутку, земельна орендна плата може капіталізуватися у вартість ділянки на коефіцієнт капіталізації для землі, який визначається із аналізу ринка. Вихідні дані для капіталізації отримують із порівняння продаж орендованої землі і величин орендної плати.

**Висновок.** Розглянуто ряд підходів до визначення вартості землі. Їх об'єднує головна теза, що вартість земельної власності завжди конкретна і повинна визначатися за допомогою її корисності в термінах юридичних, фізичних, функціональних, економічних і екологічних факторів, визначаючих продуктивність землі.

### *Література*

1. Фридман Дж., Ордуэй Н. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости. / Пер. с англ. – М.: Дело ЛТД, 1995. – 461 с.



УДК 621.14.16

*В.І. Ярас, к.т.н., доцент КНУБА,  
С.О. Ловейкін, асистент КНУБА.*

## МЕТОД ВІДРИВУ ЗІ СКОЛЮВАННЯМ, ПРАВО НА ДОСТОВІРНІСТЬ

*АННОТАЦІЯ. Доводиться правомірність застосування сучасної реалізації методу відриву зі сколюванням у якості базового для побудови кореляційних залежностей для всіх неруйнівних методів визначення міцності бетону. Наводиться методика побудови кореляційних залежностей.*

*Ключові слова: міність бетону на стиск; неруйнівні методи контролю; непрямий показник; градууювальна залежність.*

*АННОТАЦИЯ. Доказывается правомерность применения современной реализации метода отрыва со скалыванием в качестве базового для построения корреляционных зависимостей для всех неразрушающих методов определения прочности бетона. Приводится методика построения корреляционных зависимостей.*

*Ключевые слова: прочность бетона на сжатие; неразрушающие методы контроля; косвенный показатель; градуировочная зависимость.*

*ANNOTATION. We prove the legality of the use of modern methods of separation with shearing as a base for constructing correlation dependences for all non-destructive methods for the determination of concrete strength. Methodology is given by constructing correlation dependences.*

*Keywords: concrete compressive strength; non-destructive methods of control; indirect indicator; calibration dependence.*

**Постановка проблеми.** Основний показник, за яким характеризується бетон – це міцність на стиск. Саме його враховує проектувальник під час розробки робочих креслень будівлі. І саме його має на увазі постачальник бетонної суміші у графі паспорту «Клас бетону». Діючі нормативні документи визначають необхідність, правила та методики контролю міцності від моменту виготовлення бетонної суміші і до інструментального обстеження конструкцій у проектному віці бетону [2]. Проте, нормативна база залишає декілька білих плям у великому розмаїтті задач неруйнівного контролю. Основна із них - випадок, коли є необхідність визначення міцності бетону конструкцій, але при цьому не існує кореляційних залежностей для неруйнівних методів контролю, зокрема для ультразвукових методів [5]. В такому випадку, за стандартами, залишається суцільний контроль методом відриву зі сколюванням, причому – по чотири відриви на конструкцію, що займає досить багато часу і коштує немало. Виходить, методи неруйнівного контролю досить обмежені у використанні. І це на фоні того, що зараз спеціалісти озброєні апаратурою і методиками обробки даних на основі надсучасних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що дані питання не підіймалися.

**Мета статті.** На основі великого досвіду обстежень монолітних залізобетонних конструкцій довести необхідність та можливість застосовувати метод відриву зі сколюванням для побудови кореляційних кривих «Непрямий параметр – міцність бетону на стиск».

**Викладення матеріалу.** Під час зведення монолітних споруд обов'язковою є операція відбору зразків кожної партії бетонної суміші з подальшим їх випробуванням. У більшості випадків справа закінчується накопичуванням папок з протоколами випробувань і паспортами на бетонну суміш. Проте зустрічаються випадки, коли одержані результати міцності бетону зразків значно нижче за необхідну проектну. Як наслідок, перевірити одну конструкцію методом відриву зі сколюванням проблем небагато. Але бажання Замовника з'ясувати міцність великої кількості конструкцій ставить спеціалістів з неруйнівного контролю у глухий кут, який створено діючою нормативною базою [1, 2]. Всі методи неруйнівного контролю є непрямими і працюють тільки за допомогою кореляційних кривих [2, 3]. Заздалегідь заготовлена у виробника бетонної суміші кореляційна крива більш

підходить виготовленим на місці збірним конструкціям, а не монолітним [5]. Будувати нову криву по зразкам, відібраним на майданчику – частіше за все неможливо через їх малу кількість. Вибурювати з конструкцій і випробувати велику кількість нових зразків дуже коштовно і можливо тільки теоретично.

Таких випадків досить багато. Особливо на тих об'єктах, де не виконується систематичний науковий супровід згідно з [1] і необхідність контролю міцності виникає як пожежа. У даній ситуації для визначення міцності бетону у конструкціях нормативна база залишає майже тільки методи місцевого руйнування.

Інший випадок. Вже з іншої категорії. Будівля, що обстежується з метою реконструкції. Для розрахунку несучої здатності конструкцій необхідно визначити міцність бетону кожної. Тут якщо навіть теоретично і збереглися протоколи обстежень неруйнівними методами, то кореляції через багато років вже будуть не дійсні. Бетон повільно міцнішає. Знову залишаються тільки по чотири випробування на конструкцію методами місцевого руйнування, що є практично прямими методами визначення міцності.

Розглянемо далі більш детально особливості методу відриву зі сколюванням.

1. Метод відриву зі сколюванням максимально наближений до прямих методів, оскільки ґрунтується на процесах руйнування, що наближенні до тих, які відбуваються під час стиснення зразка на пресі. Вихідний параметр приладу – міцнісна характеристика бетону: залежність «Зусилля руйнування ділянки бетону – міцність на стиск» є простим перерахунком:

$$R = m_1 m_2 P, \quad (1)$$

де  $R$  – міцність бетону на стиск, МПа;  $m_1$  – коефіцієнт, що враховує максимальний розмір крупного заповнювача в зоні вириву;  $m_2$  – коефіцієнт пропорційності для переходу від зусилля вириву до міцності бетону;  $P$  – зусилля вириву анкерного пристрою, кН. Коефіцієнт  $m_2$  залежить тільки від геометрії обраного анкеру і довжини його можливого проковзування під час вимірювання і не залежить від інших факторів, таких як заміна технологічного регламенту виготовлення бетонної суміші або взагалі постачальника останньої. Достовірність даної залежності перевірялась нами шляхом паралельного випробування даним методом і циліндричних зразків бетону із вибурених кернів [5].

2. Визначається міцність бетону безпосередньо в конструкції. Останнє дуже важливо, оскільки міцність виготовлених зразків може як у більшу, так і в меншу сторону відрізнитись від міцності бетону в конструкціях, виготовлених з тої ж бетонної суміші. Все через відмінні режими ущільнення і тепло-вологісні умови твердіння.

3. Діючий ДСТУ Б В.2.7-220:2009 [3] повністю повторює радянський ГОСТ 22690-88 з рекомендаціями до використання приладів ГПНВ та ГПНС із стрілочним манометром. Але сучасна реалізація методів місцевого руйнування – мікропроцесорні прилади у якості силувимірювачів. Останні на порядок підіймають точність технології Похибка електронних вузлів вимірювання тиску робочої рідини значно менше похибки манометрів. Крім того, мікропроцесорні прилади здатні зафіксувати максимальне значення зусилля без суб'єктивних похибок. Похибка за рахунок візуального відслідковування максимального положення стрілки є досить суттєвою при неухважному виконанні обстеження.

4. Вимірювання методом відриву зі сколюванням є складною процедурою, яка містить в собі певні обмеження – ознаки, що свідчать про велику імовірність недостовірності результату вимірювання.

За ДСТУ Б В.2.7-220:2009 [3], «якщо найбільший і найменший розміри вирваної частини бетону від анкерного пристрою до меж руйнування по поверхні конструкції відрізняються більш ніж у два рази, а також якщо глибина вириву відрізняється від глибини закладення анкерних пристроїв більш ніж на 5%, то результати випробувань допускається враховувати тільки для орієнтовної оцінки міцності бетону». Також, не допускається проводити вимірювання ближче, ніж 15см до краю конструкції, і в безпосередній близькості до арматури.

На рис. 1 і 2 наведено вигляд оптимальних «кратерів» після вириву анкерів.



Рисунок 1.



Рисунок 2.

Неякісно перемішана або укладена суміш, усадочні мікротріщини є причиною великої «несиметрії» вирваної частини бетону, рис. 3 і 4. Останнє як результат випробувань за ДСТУ [3] допускається враховувати тільки для орієнтовної оцінки міцності бетону. Неякісне зачеплення анкерного пристрою, особливо під час використання нарізних анкерів, дає велике проковзування. Приклад результату – рис. 5 і 6. Результати таких випробувань взагалі бракуються.



Рисунок 3.



Рисунок 4.



Рисунок 5.



Рисунок 6.

З описаної в п.1 особливості методу відриву зі сколюванн стає зрозуміло, що це практично прямий метод визначення міцності бетону, що відзначається досить високою точністю. Особливість, наведена в п. 2, переконує нас в тому, що кореляції з показниками неруйнівних методів, побудовані на основі методу відриву зі сколюванням, будуть значно

точнішими, ніж кореліції, побудовані на основі випробування зразків у постачальника суміші.

Чому ж тоді в стандартах на неруйнівні методи [3, 4] не передбачається процедура побудови градувальних кривих на основі відривів? Відповідь на це питання, на думку авторів, криється в особливостях методу відриву зі сколюванням, що описані в п.3 і п.4. Саме наявність суб'єктивних оцінок в процесі вимірювання, а отже, і велика імовірність хибних вимірювань даним методом, не дозволила укладачам стандартів включити даний метод за основу для побудови кореляції.

Отже, вважаючи, що сучасні технології дозволили повністю вирішити проблему, зазначену в п.3, а також приймаючи, що вимоги, описані в п.4, будуть суворо виконуватись, метод відриву зі сколюванням можливо застосовувати для побудови кореляції для різних неруйнівних методів. При виконанні даних умов результат побудови градувальної залежності буде навіть більш точним, ніж у випадку її побудови на основі заводських зразків.

Розглянемо далі послідовно окремі етапи запропонованої методики побудови кореляційних залежностей.

1-й Етап. Виконання масового обстеження. Одним з неруйнівних методів – ультразвуковим поверхневого прозвучування або ударного імпульсу, з певним кроком обстежується доступна поверхня всіх контрольованих конструкцій. Це є так звана «масовка», за якою потім обчислюватиметься міцність бетону в усіх конструкціях. Фахівець на місці вибирає метод обстеження, в залежності від стану поверхні бетону, проте бажано виконувати «масовку» одразу двома методами, що підвищить надійність результатів контролю. Використання методу наскрізного прозвучування є бажаним, оскільки ним вимірюються властивості бетону в усій товщі конструкції, і тому він є більш інформативним та точним. Але реалізувати «масовку» останнім набагато складніше, ніж одним з поверхневих методів, тому автори у своїй практиці зупиняються на них.

Окреме значення непрямого показника визначається як середнє арифметичне за результатом серії вимірювання на одній невеликій ділянці бетону, причому серія повинна бути не менш як з 10-ти точок для методу ударного імпульсу і не менш 5-ти для поверхневого прозвучування. При визначенні середнього арифметичного важливим є застосування відбраковування «викидів» із серії вимірювань – нетипово низьких або високих значень. Зазвичай в сучасних приладах процедура відбраковування «викидів» та визначення середнього значення в серії вимірювань здійснюється в автоматичному режимі. Оператору не потрібно записувати кожне виміряне значення та проводити відповідні розрахунки.

Крок «масовки» обирається оператором виходячи з розмірів конструкцій і вимог надійності контролю, поставлених в задачі на обстеження. Мінімально допустима кількість ділянок вимірювання на одиницю площі поверхні окремих типів конструкцій приведена у стандартах на неруйнівні методи [2, 3].

У вертикальних монолітних конструкціях спостерігається ефект різного ступеня ущільнення бетонної суміші верхньої та нижньої частини конструкції. Середні значення як непрямого показника, так і міцності бетону в цих частинах будуть відмінними – верхня частина майже завжди буде слабшою, причому відмінність по міцності може бути до 15%. Тому в вертикальних конструкціях слід обов'язково робити масовку на різних рівнях по висоті.

2-й етап. Визначення градувальної залежності. Для побудови кривої відбираються не менше шести конструкцій (в залежності від об'єму контрольованих конструкцій) таким чином, щоб серед них була приблизно однакова їх кількість з високим, середнім і низьким значенням параметру неруйнівного методу. Даний направлений відбір потрібен для забезпечення рівномірності розподілу точок по всій протяжності градувальної кривої.

Обрані конструкції обстежуються методом відриву зі сколюванням.



В місцях відривів попередньо визначається середнє значення непрямого показника. За результатом обстеження будується градувальна залежність між непрямим показником і міцністю аналогічно до залежності “по кубикам” – за тою відмінністю, що кількість точок може бути меншою.

Зупинимося окремо на питанні необхідної кількості прямих випробувань. Для забезпечення надійного контролю не варто виходити за їх мінімальну допустиму кількість, яка регламентована методикою уточнення існуючої градувальної залежності. Рішення завжди залишається за спеціалістом, і під час його прийняття він повинен враховувати в першу чергу тісноту отриманої кореляції або величину уточнюючого впливу. У випадку, якщо за запропонованою методикою отримуються не дуже тісні кореляції, слід збільшити кількість конструкцій з прямими випробуваннями. Та навіть під час прямих випробувань всіх контрольованих конструкцій застосування неруйнівного методу за даною методикою є виправданим, оскільки дозволяє зменшити кількість відривів на окремих конструкціях (з 4-х до 1-2-х).

3-й Етап. Обчислення міцності бетону в конструкціях. Визначати міцність бетону в кожній вимірюваній точці конструкції не має сенсу. Спочатку обчислюється середнє значення непрямого показника в окремих конструкціях або їх частинах (для вертикальних або крупногабаритних конструкцій), а потім за градувальною залежністю визначається міцність даних конструктивних елементів, що і являється результатом обстеження.

#### **Висновки.**

1. Основа визначення міцності бетону в конструкціях за допомогою методів неруйнівного контролю – наявність надійної кореляційної характеристики, що відображає зв'язок непрямого показника з міцністю бетону саме для обстежуваної сукупності конструкцій.

2. За діючими стандартами побудова кореляційної характеристики для неруйнівних методів має бути тільки на основі випробувань зразків бетону з досить великою їх кількістю. Для багатьох конкретних випадків це унеможлиблює застосування методів неруйнівного контролю визначення міцності бетону.

3. Автори підтверджують можливість застосування методу відриву зі сколюванням для побудови кореляційних характеристик і пропонують власну, перевірену досвідом методику.

#### *Література*

1. ДБН В.1.2-5:2007. СНББ. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів
2. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності
3. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю (ГОСТ 22690-88).
4. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності (ГОСТ 17624-87).
5. Ярас В.І., Ловейкін С.О. З досвіду визначення міцності бетону в конструкціях. Питання і помилки. – «Строительные материалы и изделия» №4 (69), стор. 23...25, Київ, 2011.



УДК 621.44.3:678-462

Ю.В. Прилепський, к. т. н., доцент, ДонІЗТ,  
І. В. Грицук, к. т. н., доцент, ДонІЗТ,  
І.Ф. Рибалко, к.т.н., доцент, УІПА,  
В. І. Дорошко, інженер, ДонІЗТ,  
Д.С. Адров, аспірант, ДонНАБА

## АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМИ ПОТОКАМИ В ТЕПЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧАХ ДВЗ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

*АНОТАЦІЯ.* Наведено результати розробки системи автоматизація керування тепловими потоками в теплових накопичувачах ДВЗ будівельних машин. Дослідження проводились з використанням схем і блоків керування, розроблених авторами. Наведено схеми масштабного підсилювача сигналу терморпарі, порівняльних пристроїв і підсилювача потужності.

*Ключові слова:* блоки системи керування, теплові потоки, тепловий акумулятор, відпрацьовані гази.

*АННОТАЦИЯ.* Приведены результаты разработки системы автоматизация управления тепловыми потоками в тепловых накопителях ДВС строительных машин. Исследования проводились с использованием схем и блоков управления, разработанных авторами. Приведены схемы масштабного усилителя сигнала терморпары, сравнительных устройств и усилителя мощности.

*ANNOTATION.* The results of the development of automation control heat flow in heat engine drives of construction machinery. The studies were conducted using flowcharts and control units, developed by the authors. A scheme of large-scale signal amplifier thermocouple comparative device and a power amplifier.

**Актуальність проблеми.** Будівельні машини, зазвичай, експлуатуються в доволі важких умовах просто неба при наявності опадів, бруду, пилу. Особливо це відчувається в зимовий період, коли до наведених факторів додаються низькі температури. Процес пуску та прогріву двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а особливо великої потужності, в умовах низьких температур супроводжується підвищенням зносом, скороченням моторесурсу, зниженням терміну експлуатації акумуляторних батарей, додатковими витратами пального.

**Аналіз публікацій.** Для зниження негативного впливу холодного пуску ДВЗ та скорочення витрат пального на транспортних засобах, що мають двигун внутрішнього згоряння, доцільно використовувати теплові акумулятори, що накопичують тепло під час роботи двигуна внутрішнього згоряння, зберігають теплову енергію та віддають її в передпусковий період. Наявність теплового акумулятора дає змогу практично повністю позбутися холодного пуску ДВЗ та зупиняти роботу двигуна під час вимушених простоїв [1].

**Метою роботи** є підвищення ефективності теплової підготовки стаціонарних і мобільних машин шляхом автоматизації керування тепловими потоками в теплових накопичувачах ДВЗ будівельних машин.

**Основний матеріал.** Важливими елементами рекуперації тепла є тепловий акумулятор, розподіл потоків теплоносіїв і ефективна система автоматичного контролю й керування. Система виміру й керування тепловими потоками повинна відповідати наступним вимогам:

- оперативно й точно вимірювати температуру теплоносіїв і елементів, що нагріваються;
- обробляти дані датчиків і формувати сигнали для виконавчих механізмів по перерозподілу теплових потоків;
- бути завадостійкою до зовнішніх збурюючих факторів;



- мати систему захисту від позаштатних ситуацій;
- бути простою в обслуговуванні, мати малу вартість.

У даній роботі запропонована система функціонування теплового акумулятора в автоматичному режимі з накопиченням теплової енергії в період роботи двигуна внутрішнього згоряння й віддачею тепла на прогрів ДВЗ у передпусковий період.

Як додаткові умови до вищевикладених, обрані наступні:

- відбір тепла здійснюється із системи випуску відпрацьованих газів;
- потоки теплоносія формуються примусово з регулюванням продуктивності потоків;
- гази, що відпрацьовали, направляються в теплообмінник тільки якщо їх температура перевищує температуру теплонакопичувача;
- температура елементів двигуна внутрішнього згоряння, що сприймають тепло при передпусковому нагріванні, не повинна перевищувати гранично припустимого значення;
- датчики температури повинні бути уніфікованими для всього діапазону температурних полів.

На підставі обраної схеми теплообміну й поставлених вимог, розроблено алгоритм роботи автоматичного пристрою, обраний тип датчиків, визначені виконавчі пристрої, розроблена принципова електронна схема системи автоматики.

Якісна робота автоматичних систем, насамперед їх точність значною мірою залежить від датчиків. При виборі датчиків температури враховували, в першу чергу, температурний діапазон їх роботи, головні переваги та недоліки (див. таблицю 1) [2].

Температура, що вимірюється, знаходиться в діапазоні від  $-20^{\circ}\text{C}$  (температура в зимовий період) до  $+600^{\circ}\text{C}$  (гранична температура відпрацьованих газів). Виходячи з діапазону вимірювання та характеристик температурних датчиків, була вибрана хромель-алюмелева термопара, що відповідає умовам експлуатації. Для запобігання забруднення та ізоляції термопари від електропровідного матеріалу теплонакопичувача, термопари, що розташовані на шляху відпрацьованих газів та термопари, що вимірюють температуру теплонакопичувача, вкриті захисними металевими оболонками з достатньою теплопровідністю.

Таблиця 1

Головні характеристики датчиків температури.

Тип (матеріал)	Температурний діапазон, $^{\circ}\text{C}$	Переваги	Недоліки
Термодатчики опору			
Платина	-196 до +600	Висока точність, лінійність, високий питомий опір, висока стійкість до газової корозії	Висока вартість, інерційність, чутність до забруднення
Нікель	-60 до +180	Високий ТКО <sup>*</sup> , стійкість до газової корозії	Інерційність, чутність до забруднення
Мідь	-50 до +150	Висока лінійність, низька вартість	Висока інерційність, низький ТКО, низький питомий опір
РТС та NTC термістори	-60 до +300	Високий ТКО, значний опір, низька інерційність, малий розмір, низька вартість, стабільність	Нелінійність характеристики, взаємозамінюваність у вузькому діапазоні температур
Термопари			
Платино-платинородиева	0 до +1300	Висока стійкість до газової корозії, лінійність характеристики	Висока чутність до забруднення, висока вартість
Хромель-	-200 до +1200	Висока лінійність	Чутність до сіркової

алюмелева		характеристики, стійкість до газової корозії, простота виготовлення	атмосфери, температурний гістерезис
Хромель-копелева	-200 до +600	Висока чутність, стабільність	Високий вплив деформації на показники

\*) ТКО температурний коефіцієнт опору

Оскільки електрорухома сила хромель-алюмелевої термопари становить менш ніж 0,05В в діапазоні температур, що вимірюються, для всіх термопар запропонований масштабний підсилювач, принципова схема якого наведена на рисунку 1.

Оснoву масштабного підсилювача становить операційний підсилювач AV1 з високим входним опором за рахунок польових транзисторів на прямому (3) та інвертованому (3) входах. Для зменшення наводок дроти від термопари ТХА мають електростатичний екран. Додаткове усунення пульсацій, що можуть виникати з різноманітних причин, здійснюється від'ємним зворотним ємнісним зв'язком С2. Встановлення потенціалу «0» операційного підсилювача здійснюється резистором R5, а встановлення початку шкали термопари - резистором R3. За початок шкали термопари в нашому випадку вибирали потенціал, що дорівнює температурі -20 °С. Коефіцієнт підсилення напруги операційного підсилювача AV1 (масштабний коефіцієнт), що дорівнює 100, встановлювали резисторами R6 (грубе настроювання) та R7 (точне настроювання). Для усіх термопар, що встановлюються в системі рекуперації тепла, масштабні підсилювачі однакові з ідентичним настроюванням, що дає змогу виготовляти та настроювати їх заздалегідь на окремому стенді з наступною заміною їх в разі ремонту або перевірки при блочному компонуванні загальної електронної схеми.

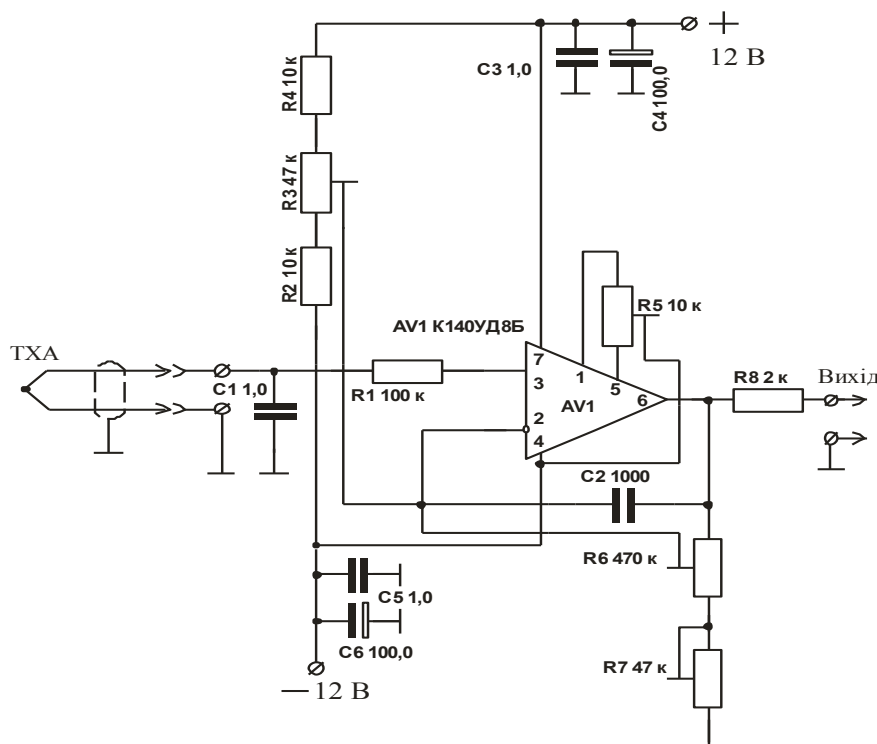


Рисунок 1. Принципова схема масштабного підсилювача сигналу термопари.

Живлення масштабного підсилювача здійснюється від стабілізованого двополярного джерела +12 В та -12 В. Для усунення можливих пульсацій напруги в мережі живлення при комутаційних процесах встановлені ємнісні фільтри С3, С4 та С5, С6.

Блоки порівняння сигналів від термопар з встановленим рівнем або між собою повинні формувати сигнали для виконавчих механізмів, що керують тепловими потоками. Оскільки більшість виконавчих механізмів працюють в ключовому режимі, на виході блоку

порівняння також формуються сигнали «ввімкнено» або «вимкнено». Принципові схеми порівняльних пристроїв наведені на рис. 2.

Як виходить з наведених схем, порівняльні пристрої являють собою компаратори. Так, при потенціалі на вході схеми (а) нижчому встановленого рівня, на виході схеми формується позитивний потенціал приблизно 5 В. Якщо потенціал на вході стане більшим за встановлений рівень, на виході 6 операційного підсилювача сформується від'ємний потенціал, а на виході порівняльного пристрою він буде близький до нульового значення. необхідний порівняльний рівень встановлюється резистором R3.

Для схеми на рис. 2, б порівнюються напруги сигналів від двох масштабних підсилювачів (двох термопар). Якщо сигнал на вході 1 буде вищий по напрузі за сигнал на вході 2, на виході порівняльного пристрою сформується позитивний сигнал. При перевищенні рівня сигналу на вході 2 над сигналом входу 1, на виході формується потенціал, близький до нульового значення.

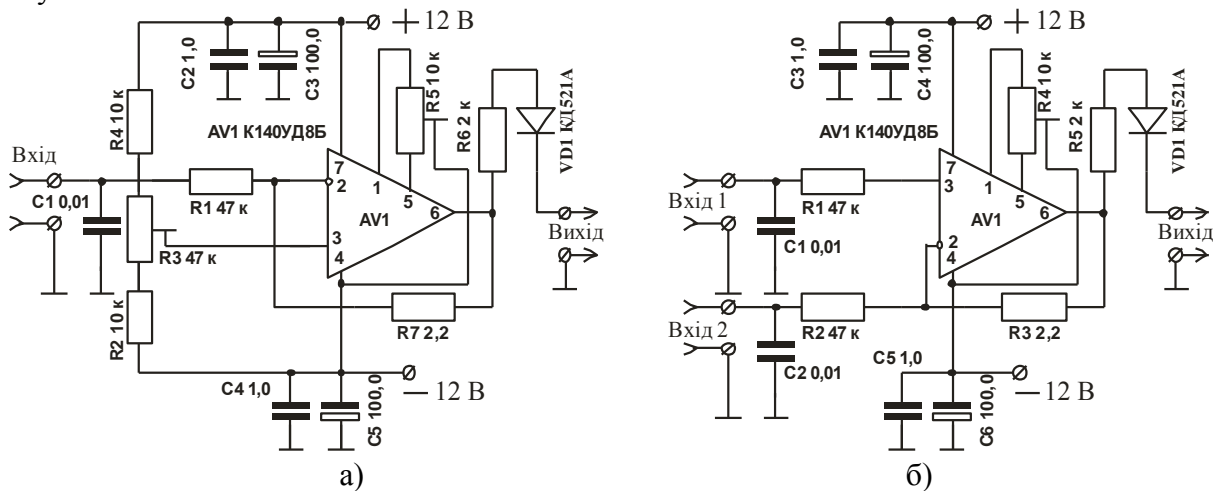


Рисунок 2. Принципова схема порівняльних пристроїв: а) – порівняння з встановленим рівнем; б) – порівняння потенціалів від двох масштабних підсилювачів.

Потужності сигналів, що виходять з порівняльних блоків, зазвичай, недостатньо для керування виконавчими механізмами. В якості підсилювача потужності запропонована схема, що наведена на рис. 3.

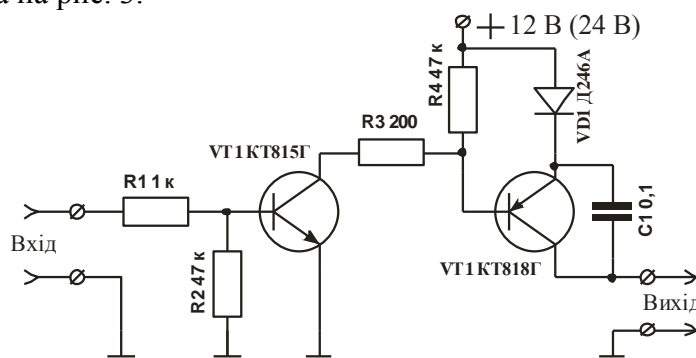


Рисунок 3. Принципова схема підсилювача потужності.

Живлення схеми здійснюється від загальної системи електричного живлення будівельної машини з напругою 12 В або 24 В. Максимальний довгостроковий струм на виході становить 10 А, що достатньо для керування виконавчими пристроями системи рекуперації тепла (електричний двигун приводу компресора, перепускні клапани потоків теплоносія, тощо). Діод VD1 запобігає

Опробування електронних блоків на дизель-генераторному стенді з тепловим акумулятором [3] показало, що рівень відхилень від встановлених температур регулювання теплових потоків не перевищує  $\pm 2,5$  °С, що є повністю достатнім для пристроїв даного класу.

#### **Висновки.**

Розроблені електронні схеми для автоматичної системи керування тепловими потоками в теплообмінниках рекуперативного типу для будівельних машин, що мають двигуни внутрішнього згорання. Описані схеми забезпечують безперервність контролю та регулювання, оскільки вони побудовані на аналоговому принципі дії.

Застосування однотипних блоків та елементної бази дозволяє значно спростити виготовлення, обслуговування та ремонт системи автоматики.

Опробування розроблених блоків в автоматичній системі регулювання теплових потоків на передпускових режимах прогріву двигуна внутрішнього згорання та накопичення тепла відпрацьованих газів показало високу стабільність підтримання температури та надійність роботи.

#### *Література*

1. Патент на корисну модель № 50378. Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата. МКП (2009) F01P 3/22, Опубл.10.06.2010 Бюл. №11 / Грицук І.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С. – 6с.
2. Термопреобразователи сопротивления и термодары - характеристики, схемы, рекомендации. – Режим доступу: [http://news.schem.net/articles/circuit\\_542.php](http://news.schem.net/articles/circuit_542.php). - Назва з екрану.
3. Адров Д.С., Грицук І.В., Прилепський Ю.В., Дорошко В.І. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур // Збірник наук. праць ДонІЗТ, вип. 27.- Донецьк, 2011.- С. 117 – 126.



## Моделювання технологічних процесів

УДК 66.084.8

О.Ф. Луговський, д.т.н., професор. Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

І.М. Берник, к.т.н., доцент. Вінницький національний аграрний університет

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КАВІТАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

*АННОТАЦІЯ.* Розглянуто теоретичні засади енергетичного впливу ультразвукового поля на технологічні середовища, що проявляються у фізико-хімічних ефектах. Основну результуючу дію на рідинні середовища має акустична кавітація і пов'язані з нею явища – звукокапілярний ефект та хімічні реакції.

*АННОТАЦІЯ.* Рассмотрены теоретические основы энергетического воздействия ультразвукового поля на технологические среды, проявляющиеся в физико-химических эффектах. Основное влияние на жидкие среды имеет акустическая кавитация и связанные с ней явления – звукокапиллярный эффект и химические реакции.

*ANNOTATION.* Theoretical basis of the energy impact of ultrasonic field on the technological environment, which manifest themselves in physical and chemical effects. The main resulting effect on the liquid medium is acoustic cavitation and related phenomena - *zvukokapilyarnyy effect and chemical reactions.*

**Актуальність досліджень.** Сучасні технологічні процеси обробки технологічних середовищ хімічної, харчової, фармацевтичної та інших переробних галузей нерозривно пов'язані з використанням енергії ультразвукового поля різної інтенсивності [1–3]. Акустичне поле створює направлену дію пружних коливань на технологічне середовище, які спричиняють фізико-хімічні ефекти. Розвиток і використання ультразвукових технологій дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси, підвищити ступінь використання сировини, змінити вихідні властивості матеріалу, створити нові речовини і середовища, забезпечити екологічність та безпечність виробництва [4–6].

**Мета досліджень.** При виконанні досліджень параметрів акустичного поля ультразвукового діапазону застосовані основні положення класичної теорії акустики, теоретичний та експериментальний аналіз здійснено шляхом оцінки параметрів енергетичної дії ультразвукового поля на технологічні середовища.

**Методика та результати досліджень.** Ефективність використання ультразвукових технологій у технологічних процесах обумовлена специфікою впливу коливань на середовища, що проявляються у фізико-хімічних ефектах та їх взаємодією (рис. 1).

Ультразвукові коливання проявляються в імпульсній енергетичній дії. Енергія звукової хвилі у процесі коливань періодично – з періодом  $T/2$  – переходить з потенційної (в ділянці стискання) у кінетичну (рух частинок та утворення зони зрідження). Оскільки частинки коливаються навколо свого положення рівноваги, то в класичному хвильовому процесі відбувається передача енергії без перенесення речовини [7].

Величина середньої кінетичної енергії в одиниці об'єму з урахуванням середнього значення квадрата косинуса (рівний  $1/2$ ):

$$\overline{E_k} = \frac{1}{4} \rho \omega^2 A^2, \quad (1)$$

де  $\overline{E}_k$  – середня кінетична енергія в одиниці об'єму;  $\rho$  – густина середовища, у якому розповсюджується хвиля;  $\omega$  – колова частота ультразвукових коливань;  $A$  – амплітуда зміщення частинки.

Середнє значення потенційної енергії – виражається тією ж величиною. Звідси, середня енергія звукової хвилі в одиниці об'єму:

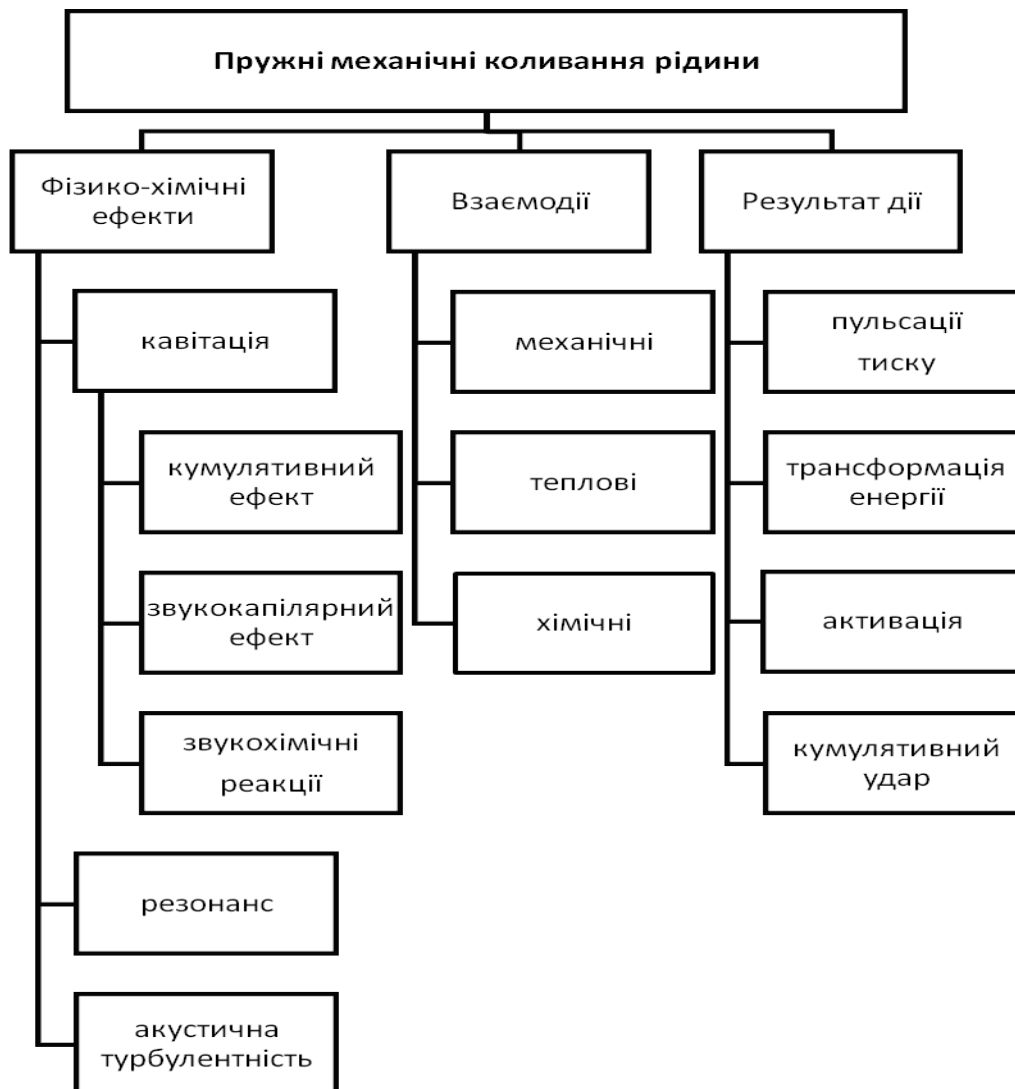


Рисунок 1. Схема дії акустичних коливань на хіміко-технологічну систему.

$$\overline{E}_\Sigma = \overline{E}_k + \overline{E}_\Pi$$

$$\overline{E}_\Sigma = 2\pi^2 \rho f^2 A^2 = \frac{1}{2} \rho U^2, \quad (2)$$

де  $\overline{E}_\Sigma$  – повна середня енергія звукової хвилі в одиниці об'єму;  $\overline{E}_\Pi$  – середнє значення потенційної енергії в одиниці об'єму;  $f$  – частота ультразвукових коливань;  $U$  – амплітуда коливальної швидкості.

Акустичне поле характеризується енергетичним параметром – інтенсивністю випромінювання:

$$I = \overline{E}_\Sigma c = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \rho c U^2 = \frac{P_a^2}{2\rho c}, \quad (3)$$



де  $c$  – швидкість звуку у середовищі;  $P_a$  – звуковий тиск, що створюється звуковим полем.

Ультразвукова хвиля інтенсивністю  $I_k$  спричиняє розвиток кавітації. При цьому вона визначається деякою пороговою величиною ( $I_{п} = 1-2 \text{ Вт/см}^2$ ), нижче якої із зародків вже не утворюються кавітаційні бульбашки.

*Особливості ультразвукової кавітації.* Найбільш успішне використання ультразвуку пов'язане з обробкою рідинних середовищ, оскільки саме в них виникає явище – ультразвукової кавітації, що є ефективним механізмом концентрації енергії звукової хвилі низької щільності у високу щільність енергії, яка зумовлена пульсаціями та захопленням кавітаційних бульбашок [8–10].

Кавітація, тобто розрив рідини, є результатом змінного тиску в об'ємі, що створює джерело ультразвукових коливань. Утворення кавітаційних бульбашок відбувається у фазі розрідження за наявності зародків кавітації (нерозчинні гази, незмочуванні тверді частинки, парогазові бульбашки) [9]. Захоплення їх відбувається у фазі стиснення. При цьому пара конденсується, а газ зазнає сильного адіабатичного стиснення. Пульсації кавітаційних бульбашок та їх захоплення створюють у мікрооб'ємах інтенсивні мікротечії, ударні хвилі, кумулятивні струмені та локальні температури.

Створити ультразвукову кавітацію можуть лише зародки певного інтервалу розмірів [8]. Мінімальний початковий радіус  $R_{\text{ед}}$  визначається із залежності:

$$R_{\text{ед}} = \sqrt{3}R_0 \left[ \frac{R_0}{2\sigma} \left( p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

де  $p_0$  – гідростатичний тиск;  $R_0$  – початковий радіус бульбашки;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу.

Максимальний радіус, за якого відбувається захоплення бульбашок, відповідає резонансному розміру  $R_{\text{рез}}$ :

$$(2\pi f)^2 = \frac{3\gamma_a}{\rho_p R_{\text{рез}}^2} \left( p_a + \frac{2\sigma}{R_{\text{рез}}} \right), \quad (5)$$

де  $R_{\text{рез}}$  – резонансний розмір зародка;  $\gamma_a$  – показник адіабати;  $\rho_p$  – густина незбуреної рідини.

Зростання частоти коливань сприяє зменшенню  $R_{\text{рез}}$ , а отже і розмірів бульбашок, які можуть захоплюватися. Тому при  $R_0 < R < R_{\text{рез}}$  спостерігається пульсація бульбашок.

Нелінійне диференціальне рівняння, що описує модель сферично-симетричної пульсації газової порожнини радіусом  $r = R(t)$  у плоскій звуковій хвилі, набуває вигляду [9]:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho} [p_{\infty} - p(R)] = 0, \quad (6)$$

де  $R = R(t)$  – радіус кавітаційної бульбашки;  $p(R)$  – тиск на поверхні бульбашки;

$p_{\infty}$  – тиск на безмежній відстані від бульбашки;  $t$  – час.

У реальних умовах розвиненої кавітації бульбашки взаємодіють одна з одною у процесі пульсації. Тому необхідно враховувати тиск  $p_{\text{кав}}$ , що генерується всіма кавітаційними бульбашками:



$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho} \left[ p_\infty - p_n - p_a + p_{\text{кав}} + \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\mu}{R} \frac{dR}{dt} - \left( p_\infty + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left( \frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} \right] = 0, \quad (7)$$

де  $p_n$  – тиск пари;  $\mu$  – коефіцієнт в'язкості рідини;  $\gamma$  – показник політропи.

Швидкість захлопування порожнини знайдемо при рішенні диференційного рівняння Релея:

$$\frac{dR}{dt} = \left[ \frac{2p_0}{3\rho_\delta} \left( \frac{R_0^3}{R^3} - 1 \right) \right]^{1/2}, \quad (8)$$

Інтегруючи рівняння, отримуємо формулу Релея для часу захлопування  $t$  в полі тиску  $p$  при  $R \rightarrow 0$ :

$$t = - \int_R^0 \left[ \frac{2}{3} \frac{p_0}{\rho_p} \left( \frac{R_0^3}{R^3} - 1 \right) \right]^{-1/2} dr, \quad t = 0,915 R_0 \left( \frac{\rho_0}{p_p} \right)^{1/2}. \quad (9)$$

У кавітаційній області безперервно відбувається процес збільшення кількості кавітаційних бульбашок та їх коагуляція. Протягом декількох десятків періодів коливань розвивається стабільна кавітаційна область, зародками кавітації якої є частинки бульбашок, що захлопнулися в попередній період [11].

Кавітаційні бульбашки при розширенні випромінюють сферичні хвилі, які при значних швидкостях захлопування можуть перейти в ударні [12].

Поведінка кавітаційної області та окремої кавітаційної бульбашки залежить від багатьох факторів, зокрема від розподілу зародків кавітації, пульсацій та мікропотоків, акустичних властивостей середовища, наявності “твердої” стінки та низка інших.

Сьогодні накопичено значну кількість експериментальних досліджень з вивчення ультразвукової кавітації [13], які покладені в основу теорії поведінки рідини під впливом інтенсивних ультразвукових коливань. Використання швидкісних відеокамер дало можливість розглянути утворення та розвиток кавітаційної бульбашки за різних умов.

Динаміка кавітаційної бульбашки у безмежній рідині свідчить про існування лише однієї ударної хвилі (рис. 2) [14].

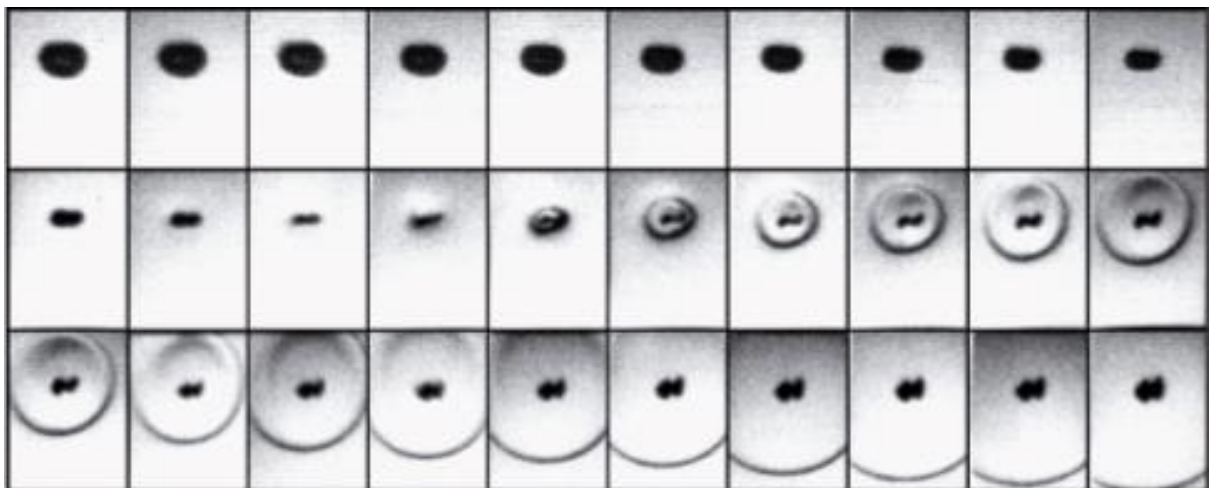


Рисунок 2. Захлопування кавітаційної бульбашки в безмежному об'ємі рідинних середовищ.

Наявність та взаємодія двох кавітаційних бульбашок призводить до утворення зустрічних струменів (рис. 3) [15].

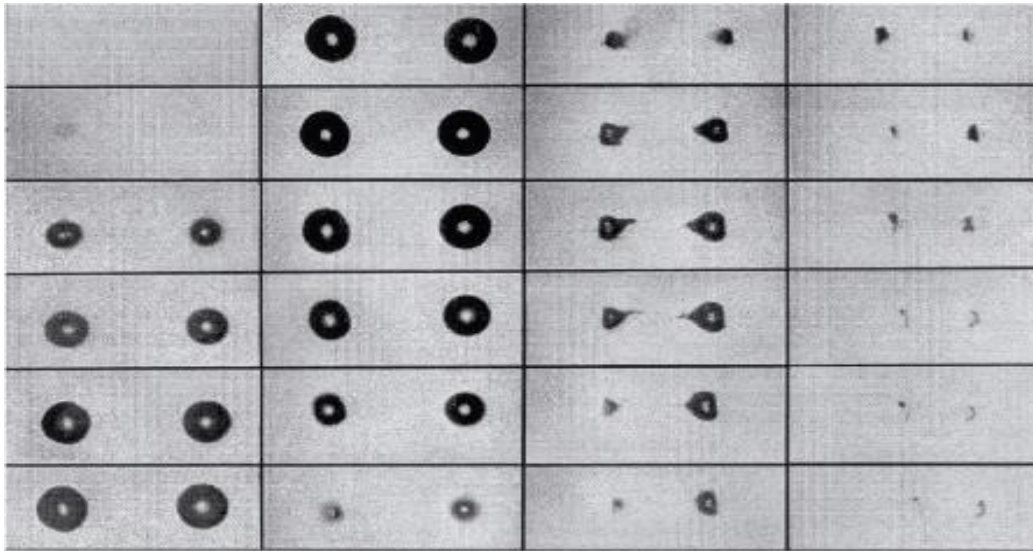


Рисунок 3. Взаємний вплив бульбашок.

Вплив на форму та динаміку захлопування кавітаційної бульбашки має також “тверда стінка”, що знаходиться на відстані  $\zeta < 4$ . За таких умов бульбашка має несиметричне захлопування та викликає порядку 3 ударних хвиль (рис. 4) [16].

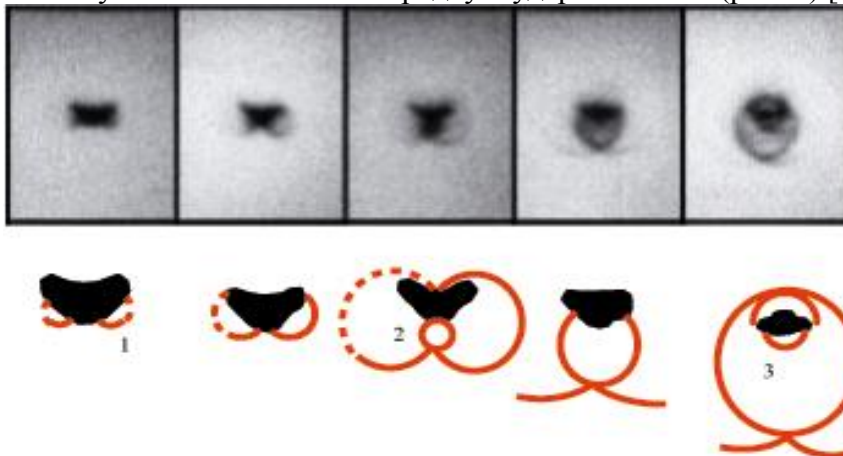


Рисунок 4. Несферичне захлопування кавітаційної бульбашки.

За умови, що захлопування відбувається у щілині між твердими стінками, величина щілини між якими близька до діаметра бульбашки, спостерігається утворення кумулятивних струменів, направлених паралельно “твердим” поверхонь [13].

Дослідження кавітації проводять, використовуючи прямі та непрямі методи. До прямих належать візуальні та акустичні, до непрямих – фотоелектричні, хімічні, акустичні, механічні та технологічні [17].

Тестом швидкої оцінки ефективності ультразвукової кавітації є використання тонкої алюмінієвої фольги (непрямий механічний метод), яку розміщують вздовж розповсюдження хвилі деформації (рис. 5) [18, 19]. Кавітаційна ерозія призводить до швидкого руйнування фольги.

*Фізико-хімічні явища, пов'язані з ультразвуковою кавітацією*

*Звукокапілярний ефект.* Збудження ультразвукових коливань, за наявності капілярів, формує стаціонарний потік рідини у ньому, тобто виникає так званий звукокапілярний ефект, який яскраво проявляється при кавітаційному режимі [20].



Рисунок 5. Кавітаційне руйнування алюмінієвої фольги при захопуванні бульбашок.

Заповнення капілярів рідиною пов'язано зі зниженням в'язкості рідини у зв'язку з розігріванням, підніманням рідини в капілярі та формуванням стаціонарного потоку [21].

Формування стаціонарного потоку рідини в капілярі пов'язано з тиском, що створений кавітаційними бульбашками при захопуванні. Кавітаційні бульбашки мають несферичну форму, оскільки захопування відбувається за наявності "твердої" стінки та існує градієнт тиску навколишнього середовища [22].

Нетрадиційним підходом є розгляд кавітаційного кластера, як пасивної акустичної мікронерівності, на яку з боку ультразвукового поля діє сила, що направляє її у капіляр [23]. У каналі можливе несферичне захопування порожнини. Схема процесів, що розвиваються у капілярі розглянуто на основі експериментів (рис. 6). Порівняння розрахункових значень величин – потужності, що переноситься потоком через одиницю перетину капіляру  $J_k$ , та інтенсивності ультразвукового поля  $J$ , а також відповідних експериментальних даних показує, що  $J_k$  перевищує значення  $J$  більше ніж на порядок, що й забезпечує створення потоку.

Таким чином було зроблено висновок, що кавітаційне середовище концентрує акустичну енергію поля, а звукокапілярна сила направляє кластер у канал капіляра. Сконцентрована акустична енергія трансформується в енергію потоку рідини. Періодичне формування кластера забезпечує стаціонарний потік, а повне захопування бульбашок – його суцільність. Обумовлені властивості звукокапілярного ефекту покладені в основу методу визначення швидкості звуку в кавітуючій рідині.

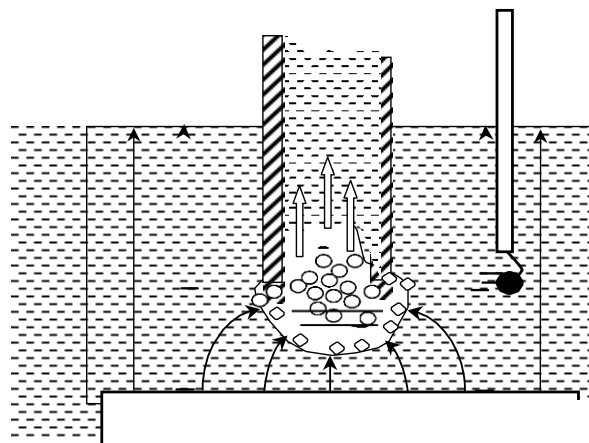


Рисунок 6. Концентрація та перетворення енергії ультразвукового поля у зрізі капіляра.

Тиск у кавітуючій рідині має пульсуючий характер із середнім значенням, яке перевищує значення гідростатичного тиску [24]. Тоді сила, що діє на капіляр, спрямована в той же бік, що і швидкість течії рідини в каналі.



Явище звукокапілярного ефекту набуло широкого практичного застосування для реалізації процесів від очищення до диспергування.

*Звукохімічні реакції.* Дія кавітації на водні розчини призводить до збудження, іонізації та дисоціації молекул води та газів у середині кавітаційної бульбашки. Наявні у середовищі гази беруть участь у передачі енергії збудження та інших процесах. Як результат є розщеплення молекул води в кавітаційних бульбашках та зміна її фізико-хімічних властивостей: підвищення рН, електропровідності, збільшення кількості вільних іонів та активних радикалів, структуризації та активації [25]. Звук при цьому діє лише на воду незалежно від природи розчинених речовин.

Сумарну схему розщеплення молекул води можна подати у вигляді:



Акустичні коливання спричиняють хімічну дію на речовину. Заслужують на увагу реакції за участю макромолекул, наприклад, деструкція молекул полімерів та ініційована нею полімеризація, для яких важливі не тільки кавітаційні процеси та пов'язані з ними ударні хвилі та кумулятивні струмені, але й механічні хвилі, що виникають при проходженні ультразвуку через розчин полімеру та руйнують макромолекули. За відсутності кавітації макромолекули не встигають переміщуватися разом з молекулами розчинника, коли у розчині поширюються ультразвукові хвилі. У цьому випадку значну роль можуть відігравати високі градієнти швидкостей та прискорень, які на 2–3 порядки перевищують градієнт звукової хвилі, що достатньо для розриву клітинних оболонок, мембран, розриву біомакромолекул.

Хімічна дія ультразвуку під час кавітації за походженням тепловою або електричною.

#### **Висновки.**

Визначено напрямок інтенсифікації технологічних процесів переробних виробництв, за рахунок використання ультразвукових коливань різних інтенсивностей.

Здійснено класифікацію ефектів та результатів їх взаємодії, що виникають у хіміко-технологічних системах під дією ультразвуку.

Застосовано у якості основного критерію досліджуваних ефектів середнє значення енергії, що передається до технологічного середовища, та встановлено порогова величина енергії.

Головним чинником інтенсифікації технологічних процесів при накладанні ультразвукового поля є дискретно-імпульсне підведення енергії, яке базується на використанні фізико-хімічних ефектів, що виникають в газорідних середовищах при швидкій зміні зовнішнього тиску.

#### *Література*

1. Луговской А.Ф., Чухраев Н.В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях.- К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007.-244 с.
2. Кисилев Е.С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с. – ISBN 5–89146
3. Хмелёв В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелёв, А.Н. Слывин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. Ун-та, 2010. – 203 с.
4. Федоткин И.М. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. – Казань: Штиинца, 1987.
5. Луговський О.Ф. Фізична модель ультразвукового кавітаційного вилучення пектину з вторинної рослинної сировини / О.Ф. Луговський, І.М. Берник // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2010. – №1 (5) – С. 25-30.
6. Эльпинер И. Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльпинер. – М.: Физматгиз, 1969. – 420 с.

7. Воробьев Е.А. Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации. Учеб. пособ. / Е.А. Воробьев. – СПб.: СПбУАП, 2002. – 54 с.: ил. – Библиогр.: С. 52.
8. Пирсол И. Кавитация / И. Пирсол. – М.: Мир, 1975. – 95 с.
9. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 668 с.
10. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. – Киев: Вища школа, 1984. – 68 с.
11. Розенберг Л.Д. Кавитационная область // Мощные ультразвуковые поля / Л.Д. Розенберг; [под ред. Л.Д. Розенберга]. – М.: Наука, 1968. – Ч. 6. – С. 221–266.
12. Агранат Б. А. Физические основы технологических процессов, протекающих в жидкой фазе с воздействием ультразвука / Б. А. Агранат. – М.: Машиностроение, 1969. – 237 с.
13. Кувшинов Г.И. Акустическая кавитация у твердых поверхностей / Г.И. Кувшинов, П.П. Прохоренко; [под ред. В. К. Кедринского]. – Мн.: Навука і тэхніка, 1990. – 112 с.
14. Ohl C. D.. Cavitation bubble collapse studied at 20 million frames per second / C. D. Ohl, A. Philipp, W. Lauterborn // Ann. Physik. – 1995. – № 4. – P. 26–34.
15. Technologieanalyse Von der Kavitation zur Sonotechnologie, Technologiefrüherkennung (Band 32). – Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des BMBF, 2000 / – ISSN 1436-5928.
16. Linbau O. Stoßwellen im Kollaps von Kavitationsblasen: Ein vertracktes Ausbreitungs-Szenario / O. Linbau, W. Lauterborn // A. Sill, Ed., Fortschritte der Akustik, Oldenburg. DEGA. V. Oldenburg, March 2000. – P. 694–695.
17. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. – 2-е изд., перераб. и доп / А. Е. Колесников. – М.: Изд.-во стандартов, 1982. – 248 с., ил.
18. Technologieanalyse Von der Kavitation zur Sonotechnologie, Technologiefrüherkennung (Band 32) Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des BMBF. – 2000. – ISSN 1436-5928.
19. Луговской А.Ф. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной очистки в ваннах малого объема / А.Ф. Луговской, А.В. Мовчанюк, В.И. Чорный, М.Ф. Омелич, И.Н. Берник // Промислова гідраліка і пневматика. – 2007. – № 1 (15). – С. 40–43.
20. Прохоренко П.П. К вопросу о воздействии ультразвука на жидкость в капилляре / П.П. Прохоренко, Н. В. Дежкунов // Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1976. – № 2. – С. 122–124.
21. Прохоренко П. П. Ультразвуковой капиллярный эффект / П.П. Прохоренко, Н.В. Дежкунов, Г.Е. Коновалов. – Минск: Навука і тэхніка, 1981. – 135 с.
22. Митчел Т. М. Несимметричное схлопывание кавитационного пузырька / Т.М. Митчел, Ф.Ж. Хэммит // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1973. – № 1. – С. 98–107.
23. Розина Е.Ю. Звукокапиллярный метод определения скорости звука в кавитирующей жидкости / Е. Ю. Розина // Акустичний вісник. – 2005. – Том 8. – №4. – С. 51–58. – Бібліогр.: с. 58.
24. Санкин Г. Н. Сила, действующая на цилиндр при ультразвуковой кавитации / Г. Н. Санкин, Н. В. Малых // Журнал технической физики. – 2005. – Том 75. – Вып. 7. – С. 101–105. – Библиогр.: с. 105.
25. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция / М.А. Маргулис. – М.: Химия, 1986. – 288 с.



УДК 519.6

*Н.І. Полтораченко, канд. тех. наук, доцент***НЕЧІТКЕ ВІДНОШЕННЯ ПЕРЕВАГ АЛЬТЕРНАТИВ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ**

*АННОТАЦІЯ.* Розглядається задача розподілення об'ємів робіт по етапах спорудження інженерних мереж в умовах нечіткості вихідних даних та критеріїв оптимальності. Запропоновано алгоритм вирішення поставленої задачі.

*АННОТАЦИЯ.* Рассматривается задача распределения объемов работ по этапам сооружения инженерных сетей в условиях нечеткости исходных данных и критериев оптимальности. Предложен алгоритм решения поставленной задачи.

*ANNOTATION.* We considered a problem of distribution of volume of works at the phases of construction of the utilities with the conditions of indistinctness of source data and criterion of optimality. Algorithm of the solution of the problem is suggested.

**Актуальність теми.** Сучасний стан галузей виробничої інфраструктури, до яких відносяться системи водо-, тепло- і газопостачання, характеризується високою динамікою розвитку, що обумовлено як збільшенням об'ємів використання цільового продукту (вода, газ, теплоносій) у вже існуючих системах (потреба реконструкції), так і подальшою газифікацією, теплофікацією і т.д. нових районів та населених пунктів [1-3]. Транспортування та розподіл цільового продукту (ЦП) інженерними мережами (ІМ) вимагає великих фінансових та матеріальних витрат. Друга, що стала в останній час особливо актуальною, задача полягає у забезпеченні повного та надійного постачання ЦП всіх споживачів або – в умовах дефіциту – надійного забезпечення пріоритетних споживачів шляхом оперативного перерозподілу потоків ЦП з тим, щоб використання наявної його кількості забезпечило максимальний у цій ситуації економічний та соціальний ефект. Складні динамічні процеси, що відбуваються в ІМ, вимагають керування потоками ЦП в мережах з метою їх перерозподілу. Для цього система повинна мати властивість маневреності, яка закладається при проектуванні на основі прогнозування експлуатаційних процесів за допомогою, наприклад, імовірно-статистичних моделюючих або математичних методів аналізу та синтезу.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Для ІМ характерні основні ознаки складних систем: володіння визначеною єдністю мети і сприяння виробленню оптимальних виходів в умовах існуючої множини виходів; виконання великої кількості різних функцій, які здійснюються кількома частинами, що складають систему; складність функціонування (зміна одного невідомого впливає на зміну багатьох невідомих, як правило, нелінійно); високий ступінь автоматизації; багаточисельність та різнотипність зовнішніх та внутрішніх збурень, які впливають, наприклад, з того, що в основу проекту закладаються вихідні дані, які відповідають стану системи через 10, 15 років, а іноді і більше, та інше. Саме наявність та невизначений характер цих збурень визначають ситуацію, коли багато вимог, що висувуються до системи, нерідко суперечать одна одній. Так, забезпечення мобільності системи неминуче пов'язано із збільшенням її вартості. Розв'язання таких протиріч складає суть діяльності по створенню складних систем.

Проектування нових та реконструкція старих ІМ є багатокритеріальною та багатовимірною задачею, яка вимагає нових підходів до її розв'язання [4]. У роботі [4] зроблено наголос на необхідності урахування як детерміністських вихідних даних, так і тих, що можуть змінюватися з плином часу. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання ІМ розглянуто у статті [5]. Невизначеність інформації на різних етапах проектування ІМ може описуватися стохастичними моделями, за допомогою інтервальних або нечітких чисел та функцій.

**Мета роботи.** Метою статті є розробка алгоритму отримання найбільш раціонального розв'язку задачі розподілення об'ємів робіт по етапах спорудження ІМ в умовах нечіткості вихідних даних та критеріїв оптимальності.

**Виклад основного матеріалу.** Початковий етап проектування ІМ полягає у знаходженні розташування систем споживання, їх характеристик та вимог до поточкорозподілу при різних режимах роботи. Саме на цьому етапі час виступає як керуюча змінна, бо відбувається розбиття процесу спорудження ІМ на періоди.

Пропонується територію  $Y$ , на якій планується проектування, розділити на ділянки  $Y_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) такі, що

$$Y = \{ Y_i : \forall (i \neq j) ( Y_i \cap Y_j = \emptyset ) \cap ( \cup Y_i = Y ), i, j = 1, 2, \dots, n \}.$$

Кожна ділянка за експертними оцінками описується чіткими функціями корисності  $t_j(x_p)$  – числова оцінка альтернативи  $x_p$  ( $p=1,2,\dots,P$ ) за ознакою  $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ).

Роль альтернатив виконують етапи спорудження ІМ ( $p=1,2,\dots,P$ ), а ознаками (критеріями) є вартість прокладки одиниці довжини комунікації на ділянці  $Y_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), втрати від заморожування надлишкових потужностей, ступінь задоволення потреб споживачів, допустимість виконання робіт на відповідному етапі з технологічної точки зору, стан ґрунтів, наявність природних перешкод і т.д. ( $j=1,2,\dots,m$ ).

Таким чином, кожна функція  $t_j(x_p)$  описує чітке відношення переваги  $R_j$  на множині альтернатив  $X$ , що має вигляд

$$R_j = \{ (x_i, x_k) : t_j(x_i) \geq t_j(x_k), i, k = 1, 2, \dots, P \}, j = 1, 2, \dots, m.$$

Завдання полягає у тому, щоб вибрати альтернативу, яка мала б найбільші оцінки за всіма критеріями. Такі альтернативи є ефективними, а розв'язком задачі буде вибір усіх ефективних альтернатив.

Для кожного критерія введемо функцію належності

$$\mu_j(x_i, x_k) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t_j(x_i) \geq t_j(x_k), \\ 0, & \text{у протилежному випадку,} \end{cases} \quad i, k = 1, 2, \dots, P.$$

Тоді їх перетину  $Q = \cap R_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) відповідає функція належності

$$\mu_Q(x_i, x_k) = \min \{ \mu_j(x_i, x_k), i, k = 1, 2, \dots, P \}, j = 1, 2, \dots, m.$$

Скориставшись означенням недомінованих альтернатив [6], визначимо їх у множині  $(X, Q)$ :

$$\mu_Q^{nd}(x_i) = 1 - \sup \{ \mu_Q(x_k, x_i) - \mu_Q(x_i, x_k), k = 1, 2, \dots, P \}, i = 1, 2, \dots, P,$$

$\mu_Q^{nd}(x_i)$  – ступінь, з яким альтернатива  $x_i$  не домінується жодною альтернативою з множини  $X$ .

Побудована модель відповідає випадку рівноважливості усіх критеріїв  $R_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ). Якщо ввести вагові коефіцієнти  $\alpha_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) відповідних ознак, то нечітке відношення переваг  $G$  буде мати вигляд

$$\mu_G(x_i, x_k) = \sum_{j=1}^m \alpha_j \mu_j(x_i, x_k), \quad i, k = 1, 2, \dots, P, \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad \alpha_j \geq 0,$$

а нечітка підмножина недомінованих альтернатив по відношенню  $G$

$$\mu_G^{nd}(x_i) = 1 - \sup \{ \mu_G(x_k, x_i) - \mu_G(x_i, x_k), k = 1, 2, \dots, P \}, i = 1, 2, \dots, P.$$

Знайшовши перетин множин  $Q^{nd}$  та  $G^{nd}$  і спільну множину недомінованих альтернатив  $T = Q^{nd} \cap G^{nd}$  з функцією належності

$$\mu_{nd}(x_i) = \min \{ \mu_Q^{nd}(x_i), \mu_G^{nd}(x_i) \}, \quad i = 1, 2, \dots, P,$$

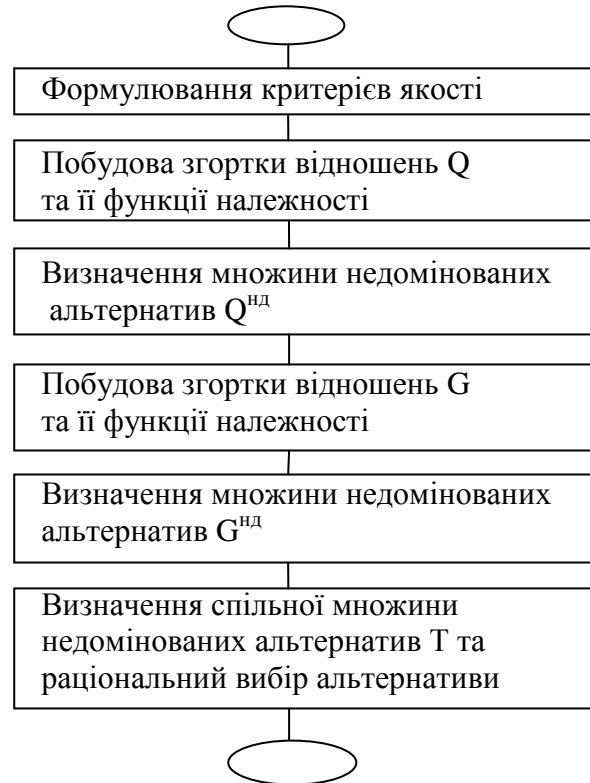


раціональним вважаємо вибір альтернатив із множини

$$X^* = \{ \mu_{но}(x^*) = \sup \mu_{но}(x_i), i=1,2,\dots,P \}.$$

Такі дослідження виконуються для кожної ділянки  $Y_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), що дозволяє раціональним шляхом розподілити об'єми робіт по різних етапах спорудження ІМ.

Алгоритм прийняття рішень за допомогою відношення переваг альтернатив може бути представлений наступним чином:



**Висновки.** Застосований прийом прийняття рішень при нечіткому відношенні переваг на множині альтернатив є більш універсальним у порівнянні з задачею досягнення нечітко визначеної мети (задача Белмана-Заде), бо далеко не завжди можна описати мету та обмеження за допомогою функції належності.

### Література

1. Атаманчук В.В. Особливості розвитку систем теплопостачання й шляхи їх оптимізації // Містобудування та територіальне планування / В.В.Атаманчук: Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2009. – Вип.35. – С.25-33.
2. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети / С.В.Храменков. – М.: Стройиздат, 2005.
3. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання // Водопостачання та водовідведення / Н.Г.Насонкіна, В.В.Дорофійенко, В.М.Маслюк, С.С.Антоненко, В.М.Сахновська – К.: 2009. - №2. – С.2-8.
4. Демченко В.В. Переваги онтологічного підходу до розподіленого моделювання інженерних та транспортних мереж // Містобудування та територіальне планування / В.В.Демченко: Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2008. – Вип.29. – С.79-83.
5. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки / П.І.Анпілогов, В.М.Міхайленко, А.П.Анпілогов, Ю.В.Кошарна: Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2007. – Вип.27. – С.8-13.
6. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Підручник / Ю.П.Зайченко – К., 2000.- 688 с.



УДК 53.03

*В.І. Клапченко, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури*

### МАКРОСКОПІЧНА МОДЕЛЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

**АНОТАЦІЯ.** Запропоновано макроскопічну модель рівномірного руху, яка формує цілісний погляд на механічний рух як фундаментальне фізичне явище. Вперше показано існування критичної швидкості руху середовищ, вище якої з'являється ефект закритичного релятивістського випромінювання, на даний час відомого, зокрема як синхротронне випромінювання.

**АННОТАЦИЯ.** Предложена макроскопическая модель равномерного движения, которая формирует целостный взгляд на механическое движение как фундаментальное физическое явление. Впервые показано существование критической скорости движения сред, выше которой появляется эффект закритического релятивистского излучения, на данное время известного, в частности, как синхротронное излучение.

**ANNOTATION.** The macroscopical model of uniform motion which forms a complete sight at mechanical motion as the fundamental physical phenomenon is offered. For the first time existence of critical velocity of motion of medium above which there is an effect overcritical relativistic radiation, for given time known, in particular, as synchrotron radiation is shown.

**Вступ.** В роботі [1] розглянута ймовірнісна інтерпретація механічного руху макротіл. Головним результатом цієї роботи була залежність маси макротіл від їх швидкості руху, яка в [2] з'являлась лише як наслідок. Успішність ймовірнісної інтерпретації механічного руху дозволила поставити питання про можливість системного розгляду механічного руху, по аналогії з тепловим молекулярним рухом, з двох точок зору. З одного боку, на основі корпускулярно-кінетичної моделі, початок якій покладено в [1], а з другого – на основі макроскопічної моделі механічного руху, яка базується на залежності маси тіл від їх швидкості.

Дана робота присвячена спробі сформуванню такої макроскопічної моделі механічного руху, розглянувши, в першу чергу, рівномірний прямолінійний рух тіл.

**Головні співвідношення.** Найбільш підтвердженим та безсумнівним експериментальним фактом є залежність маси тіл від їхньої швидкості руху  $u$ :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c_0^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1)$$

де  $c_0$  – швидкість світла в вакуумі. Зростання маси по (1) стає відчутним лише при швидкостях  $u$ , порівнянних з  $c_0$ , тому ми розділяли механіку на класичну та релятивістську. Насправді ж (1) справедлива при будь-яких швидкостях і є невід'ємною ознакою механічного руху. Тому залежність (1) ми будемо називати *глобальним співвідношенням*, або основним законом, що характеризує механічний рух як такий.

Глобальність цього співвідношення в тому, що для будь-якого рухомого середовища, яке має швидкість  $u$ , його маса, маси всіх складових середовища (окремих тіл, частинок та навіть електромагнітного випромінювання) змінюються за формулою (1). Тобто, для фотона, як складової електромагнітного випромінювання, справедливо наступне:

$$m_\phi = \frac{m_{0\phi}}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1a)$$

якщо він рухається разом з середовищем, де

$$m_{0\phi} = \text{const} \neq 0, \quad (1b)$$

маса цього ж фотона, який рухається в вакуумі незалежно від рухомого середовища, тобто, не взаємодіючи з ним.



Підкреслимо, що  $m_{0\phi}$  – це ні в якому разі не маса спокою фотона, яка тотожно дорівнює нулеві. В (1a) та (1b) мова йде про фотон, що розповсюджується в вакуумі, знаходячись в двох різних станах взаємозв'язку з рухомим середовищем. Співвідношення (1a) та (1b) утворюватимуть систему зв'язаних рівнянь лише при додатковій умові незмінності частоти фотона в цих станах:

$$\omega_{\phi} = \omega_{0\phi} = \text{const} . \quad (2a)$$

Ця умова враховує явну залежність енергії-маси фотона від частоти.

З рухомим середовищем завжди пов'язана певна кількість рівноважного випромінювання. Наприклад, це може бути теплове випромінювання в вакуумній порожнині рухомого середовища. Його можна ізолювати непроникною оболонкою, але, при її відсутності, випромінювання здатне безперешкодно покидати рухоме середовище. Для окремої порції випромінювання (фотона) це означає стрибкоподібний перехід від стану руху в вакуумі в складі рухомого середовища (1a) до стану вільного розповсюдження в вакуумі незалежно від рухомого середовища (1b).

Безперешкодний вихід фотонів за межі рухомого середовища буде можливим лише при виконанні законів збереження, зокрема закону збереження імпульсу. Якщо швидкість фотона в вакуумі, в стані, коли він є складовою рухомого середовища, позначити як  $c$ , а швидкість фотона в вакуумі, в стані, коли він рухається незалежно, як  $c_0$ , то закон збереження імпульсу для фотона відносно вакууму матиме вигляд:

$$m_{\phi}c = m_{0\phi}c_0 = \text{const} . \quad (2b)$$

Скориставшись (1a) та (1b), матимемо:

$$c = c_0 \sqrt{1 - \beta^2} , \quad (3a)$$

$$c_0 = \text{const} . \quad (3b)$$

Зауважимо, що подвійні співвідношення (1a), (1b) та (3a), (3b), пов'язані між собою законом збереження імпульсу (2b), представляють собою *первинні наслідки* глобального співвідношення (1) та описують параметри головного носія релятивістської ідеї - світла. Тому ми називатимемо їх *головними* релятивістськими співвідношеннями. Їх особливість – специфічний дуалізм. З одного боку вони враховують *квантовий* корпускулярно-хвильовий дуалізм. З другого – *релятивістський* дуалізм світла, що розділяє випадки: світло є невід'ємною складовою рухомого середовища або тісно взаємодіє з середовищем (наприклад, з вимірювальною системою) - тоді справедливі (1a) та (3a); світло з середовищем не взаємодіє – тоді справедливими є (1b) та (3b). Історично обидва співвідношення (3a), (3b) для швидкості світла в вакуумі розглядалися [3], але як альтернативні.

**Про часткову застосовність балістичної гіпотези.** В нашому розгляді постійно буде присутнім особливий об'єкт руху – світло (або його складова частинка - фотон). Його особливість ми змогли відчутти з моменту появи уявлення про нього. Зокрема до фотона не можна прикласти силу, до нього не застосовне поняття прискорення, тобто, він не підлягає динамічному описанню. Можна прискорити будь-яку частинку (наприклад, атом), але не можна прискорити фотон. До особливостей світла слід віднести і питання про застосовність балістичної гіпотези. Наприклад, Рітц [4] розглядав лише дві можливості: балістична гіпотеза для світла застосовна повністю та балістична гіпотеза незастосовна зовсім.

А насправді істина посередині. Ми розглянемо це таким чином. Нехай існує деяка *експертна* система відліку, яка нерухома відносно фізичного вакууму. І нехай в цій системі відліку знаходиться нерухоме середовище, в складі якого ми можемо виділити один з атомів, здатний в збудженому стані випромінювати квант світла. Поки середовище нерухоме, атом випромінює фотон з частотою

$$\omega_{0\phi} = \frac{W_{0mn}}{\hbar} = \frac{m_{0\phi}c_0^2}{\hbar}, \quad (4)$$

де  $W_{0mn}$  – енергія збудження нерухомого атома. Якщо середовищу, разом з таким збудженим атомом, надати швидкості  $u$ , то його енергія збудження зросте, відповідно до (1):

$$W_{mn} = \frac{W_{0mn}}{\sqrt{1-\beta^2}} = m_{\phi}c_0^2. \quad (5)$$

Енергія за формулою (5), по суті, є енергією поки ще не народженого в рухомій системі відліку фотона, маса якого  $m_{\phi}$  повинна зрости відповідно до (1a). До цієї порції енергії-маси ненародженого фотона, як і для будь-якої частинки з ненульовою масою спокою, балістична гіпотеза застосовна в повній мірі. Зокрема можна представити цю порцію енергії-маси, як таку, що отримала швидкість  $c$  в напрямі, перпендикулярному напрямку швидкості  $u$ . Тоді закон збереження імпульсу для спостерігача експертної системи відліку виглядав би так:

$$m_{\phi}\vec{c} + m_{\phi}\vec{u} = m_{\phi}\vec{c}', \quad (6)$$

де  $m_{\phi}$  – маса можливого фотона, еквівалентна енергії за формулою (5). Провівши скорочення в (6), отримаємо:

$$\vec{c} + \vec{u} = \vec{c}', \quad (7)$$

де швидкість  $c$  визначається формулою (3a).

Якщо справедливі обидві формули (6) і (7), то балістична гіпотеза застосовна, а коли обидві не справедливі, то балістична гіпотеза повністю незастосовна. До поки порція енергії-маси за формулою (5) є частиною рухомого атома, обидва співвідношення справедливі. Але як тільки фотон випромінюється та виходить за межі рухомого середовища, ситуація змінюється. По-перше, напрям випромінювання повинен співпасти з напрямом швидкості  $\vec{c}'$ , але величина швидкості завжди буде рівною  $c_0$  відповідно до (3b). По друге, маса фотона, що покинув рухоме середовище, стане рівною  $m_{0\phi}$ , так що імпульс його  $m_{0\phi} \cdot c_0$  буде за величиною рівний тому імпульсу, який би був у фотона при випромінюванні нерухомим середовищем. Легко перевірити, що величина цього імпульсу рівна  $m_{\phi} \cdot c$ , тобто, імпульсу фотона в рухомому середовищі, що й дозволило записати (2b).

Тобто, додаткового імпульсу  $m_{\phi}\vec{u}$  (6) у фотона не має, цей доданок завжди належить рухомому середовищу. Тому формула (6) для фотона взагалі не може бути записана. А формула (7) справедлива лише частково, вона правильно визначає напрям випромінювання фотона, що покидає рухоме середовище, проте величина результуючої швидкості  $\vec{c}'$  фізичного змісту не має. Таким чином, часткова застосовність балістичної гіпотези зводиться до того, що дає змогу визначити кути діаграми випромінювання світла, що виходить за межі рухомого середовища.

Підсумовуючи, ще раз привернемо увагу на те, що при прискоренні середовища змінити імпульс фотона не можна. Додатковий імпульс, що виникає, є невід'ємною частиною рухомого середовища, як, до речі і додаткова енергія  $\Delta W = (m_{\phi} - m_{0\phi})c_0^2$ . Дійсно, з повної енергії збудженого атома за формулою (5) за межі рухомого середовища фотон виносить тільки енергію  $m_{0\phi}c_0^2$ . Та навіть більше того, фотон, перебуваючи в межах рухомого середовища та маючи повну енергію  $m_{\phi}c_0^2$ , проявляє себе як фотон з енергією  $m_{0\phi}c_0^2$ . Це і є його власна енергія. Коротше кажучи, фотон в рухомому середовищі став важчим та повільнішим, але при цьому не змінив ні своєї енергії ні імпульсу.

Тепер можна зробити важливий висновок. Ми розглянули приклад випромінювання фотона рухомим атомом, вибравши випадок, коли швидкість руху фотона  $\vec{c}$  орієнтована



перпендикулярно швидкості середовища  $\vec{u}$ . При такому виборі буде відсутнім поздовжній ефект Доплера. Отриманий нами результат такий: енергія фотона для спостерігача в рухомому середовищі така ж за величиною, як і для спостерігача експертної системи відліку, який приймає фотон в напрямі швидкості  $\vec{c}'$ , і така ж, яку випромінював би нерухомий атом. Тобто, відповідно до (4), виміряна частота фотона у всіх трьох випадках буде однаковою. Висновок: *поперечного ефекту Доплера не існує*. Узагальненням до такого висновку є твердження про те, що фізичний вакуум можна розглядати як абсолютну систему відліку.

**Вторинні релятивістські співвідношення та атомні еталони.** Ще раз повернемося до розгляду атомарної задачі. Цього разу поцікавимося більш віддаленими наслідками, до яких приводить наявність залежності маси від швидкості руху (1). В першу чергу звернемо увагу на те, що з точки зору спостерігача експертної системи відліку, у рухомого атома за формулою (1) змінюються маси всіх структурних складових (зокрема електронів), так що прямим наслідком співвідношення (1) буде скорочення довжини хвилі де Бройля електрона в атомі:

$$\lambda_{eДБ} = \frac{h}{m_e V_{ep}} = \lambda_{e0ДБ} \sqrt{1-\beta^2}, \quad (8)$$

де  $V_{ep}$  – відносна швидкість електрона в системі атома.

Формулу (8) можна вважати вторинним наслідком співвідношення (1). Пряме спостереження (8) не можливе, зате опосередковано воно підтверджено тим, що енергія збудження у рухомого атома зростатиме по (5). Але формула (8) розпочинає інший ланцюжок зв'язків, що приводять до наслідків, які допускають прямі спостереження: за зменшенням довжини хвилі де Бройля настає зменшення електронних радіусів, а значить – розмірів атома, а потім – відповідних довжин міжатомних зв'язків і, в решті решт - *всіх* розмірів рухомих тіл в конденсованому стані:

$$l \approx l_0 \sqrt{1-\beta^2}. \quad (9)$$

Це і є той, *суттєвий для спостерігача*, кінцевий результат, який стає *вторинним релятивістським співвідношенням*. Підкреслимо, що (9) описує *реальне скорочення розмірів рухомих тіл* в конденсованому стані, до якого схилився і Лоренц [5].

Постільки мова заходить про спостереження, то ми опиняємося перед необхідністю вибору еталонів. На сьогодні в якості еталонів довжини та часу вибрані атомарні еталони. Тоді варто згадати результати розгляду атомарної задачі з попереднього пункту. Зокрема те, що власна енергія фотона в рухомому середовищі, незалежно від напрямку випромінювання, завжди дорівнює  $m_{0ф} c_0^2$  і співпадає з енергією фотона, який випромінює нерухомий атом. Тоді для спостерігача в рухомому середовищі частота фотона буде завжди такою ж, як і у спостерігача експертної системи відліку (4):

$$\omega(u) = \frac{m_{0ф} c_0^2}{\hbar} = \omega_0 = \text{const}. \quad (10)$$

Тобто, атомарний еталон часу є тим ідеальним годинником, хід якого не залежить від швидкості руху системи: часові інтервали, виміряні рухомим та нерухомим атомарним еталоном часу, рівні між собою, тобто, часовий інтервал є інваріантом:

$$\tau = \tau_0 = \text{const}. \quad (11)$$

Враховуючи стабільність частоти (10), яку фіксують спостерігачі в різних системах відліку, та залежність швидкості світла  $c$  від швидкості руху середовища (3а), приходимо до висновку, що довжина хвилі в рухомому середовищі зменшується:

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega_0} = \frac{2\pi c_0 \sqrt{1-\beta^2}}{\omega_0} = \lambda_0 \sqrt{1-\beta^2}. \quad (12)$$

Такою ж буде і залежність еталона довжини від швидкості руху середовища:

$$l_{et} = l_{0et} \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (13)$$

**Релятивістські співвідношення та постулати СТВ.** Розглянемо рухому систему відліку, на яку ми перетворили описане вище рухоме середовище, обладнавши його еталонами основних фізичних одиниць: еталонам маси та атомарними еталонами довжини та часу. Проаналізуємо здатність спостерігача цієї системи відліку щодо фіксації тих змін, які виникають в системі при зміні її швидкості руху.

Зрозуміло, що найпростіші спостереження за часом, розмірами твердих тіл та їх масами не дають змоги визначитись, рухається система чи знаходиться в спокої. Тому що хід часу – незмінний, зростання маси тіл відбувається за тим же законом, що і зростання маси еталона (1), скорочення розмірів тіл (9) – аналогічно скороченню еталона довжини (13). Можна показати, що й дифракційні та інтерференційні експерименти, проведені в рухомій системі відліку, співпадуть за результатами з аналогічними експериментами експертної системи відліку, бо всі розміри, включаючи і довжини хвиль випромінювання (12), змінюються за однаковими законами. Навіть експеримент по прямому вимірюванню часу, за який світло в рухомій системі відліку проходить однакову відстань (виміряну еталонам довжини в даній системі) з очевидністю дасть однаковий результат: виміряна еталонами довжини відстань буде коротшою у скільки разів (13), у скільки разів меншою за величиною є швидкість світла (3а).

Таким чином, можна вказати цілу низку *механічних та оптичних експериментів, проведення яких всередині системи відліку не спроможне встановити, рухається вона чи ні.* Це і є підґрунтям для формулювання *принципу відносності*, який, в межах СТВ [2], поширено на *всі* фізичні експерименти.

Крім того, експеримент по вимірюванню часу, за який світло проходить однакову відстань, може привести і до уявлень про *інваріантність швидкості світла в вакуумі*. Але тут є особливість. Так, якщо в експертній системі відліку за час  $t$  світло проходить відстань  $L_0 = c_0 t$ , то ця відстань, виражена в одиницях довжини нерухомої системи, буде мати числове значення  $L_0 / l_{0et}$  одиниць довжини. Тоді число  $\{c_0\}$ , яким буде виражена швидкість світла в вакуумі  $c_0$ :

$$\{c_0\} = \frac{L_0 / l_{0et}}{t}. \quad (14)$$

В рухомій системі відліку за той же проміжок часу  $t$  світло пройде меншу за величиною відстань  $L = ct = c_0 \sqrt{1 - \beta^2} t$ . Проте ця відстань, виражена в одиницях довжини рухомої системи (13), матиме теж саме числове значення  $L_0 \sqrt{1 - \beta^2} / l_{0et} \sqrt{1 - \beta^2} = L_0 / l_{0et}$ . Тобто, при будь-яких вимірюваннях швидкості світла ми отримуватимемо для неї одне й теж саме число:

$$\{c\} = \frac{L / l_{et}}{t} = \frac{L_0 / l_{0et}}{t} = \{c_0\} = \text{const}. \quad (15)$$

Підкреслимо, що число  $\{c\} = \{c_0\}$ , яким виражена швидкість світла в вакуумі, відповідає значенню швидкості світла в вакуумі  $c_0$ , якщо б її виміряли в експертній системі відліку. Тобто, ми отримали правильне число для світової константи  $c_0$ , не маючи змоги виміряти її величину безпосередньо: будь-яка спроба вимірювання  $c_0$  по (3b) означає появу взаємодії світла з рухомою вимірювальною системою, та передбачає кінцевий результат в вигляді співвідношення (3а).

Однак за результатами подібних експериментів інваріантність швидкості світла в вакуумі могла бути сприйнята двояким чином. По перше, як збереження числа, яким виражена швидкість світла в вакуумі, при цьому величина швидкості світла в вакуумі, виміряної рухомою системою відліку, змінюється згідно (3а). По друге, як збереження



величини швидкості світла в вакуумі, незалежно від руху системи відліку чи джерела світла. За формою це уявлення співпало б з тим, що зафіксоване в формулі (3b).

Таким чином, двоякість чи своєрідний релятивістський дуалізм світла, відмічений формулами (3a) та (3b), проявив себе і на рівні тлумачення принципу інваріантності. Зокрема якраз друге тлумачення і стало відомим нам як *принцип інваріантності* швидкості світла в вакуумі, сформульований в СТВ [2]. Відмітимо, що і перше тлумачення принципу інваріантності, і майже в тому вигляді, який приведено нами, було представлено серед варіантів пошуку вирішення релятивістських проблем на рубежі 19-го та 20-го століть [6].

**Про поздовжній ефект Доплера та діаграму випромінювання.** Нехай маємо рухоме середовище, швидкість якого  $u$ , яке випромінює світло, та інше рухоме середовище, що має швидкість  $V$ , в якому проводять фіксацію цього випромінювання. Тобто, перше середовище є джерелом світла, в той час як друге є системою реєстрації. Враховуючи, що фізичний вакуум можна вважати абсолютною системою відліку, а швидкості руху середовищ задані відносно такої системи, формула для поздовжнього ефекту Доплера повинна мати такий же вигляд, як і для звукових хвиль:

$$\omega = \omega_0 \frac{1 + (V/c_0) \cos \gamma}{1 - (u/c_0) \cos \alpha_0} = \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos \alpha_0}, \quad (16)$$

де  $\beta_u = u/c_0$ ,  $\beta_V = V/c_0$ , кут  $\alpha_0$  є тим кутом, який утворює напрям випромінювання з напрямом швидкості середовища  $u$  в системі відліку рухомого спостерігача. Кут  $\gamma$  є тим кутом, який утворює швидкість системи спостереження  $V$  відносно світлового променя в напрямі на джерело. Цей кут достовірно можна визначити лише тоді, коли стане відомим кут  $\alpha$ , під яким випромінювання виходить за межі рухомого середовища. Skorиставшись формулою додавання швидкостей (7) знайдемо формулу для розрахунку цього кута:

$$\sin \alpha = \sin \alpha_0 \frac{\sqrt{1 - \beta_u^2}}{\sqrt{1 + 2\beta_u \cos \alpha_0} \sqrt{1 - \beta_u^2}}. \quad (17)$$

Обидва кути  $\alpha_0$  та  $\alpha$  є діаграмними кутами:  $\alpha_0$  визначений відносно рухомої системи (системи джерела), тоді як  $\alpha$  є кутом, вимірним в експертній системі відліку. Наприклад, теплове випромінювання для спостерігача, що знаходиться в рухомій системі відліку, є ізотропним. І тоді з однаковою ймовірністю кут  $\alpha_0$  приймає будь-яке значення в межах від 0 до  $\pi$ . Тобто, кут  $\alpha_0$  стає незалежною рівноймовірною змінною в означених межах. Легко бачити (17), що при всіх кутах  $\alpha_0$  кути  $\alpha$  завжди менші за  $\alpha_0$ , тобто діаграма випромінювання є спотвореною, витягнутою вперед в напрямку руху середовища.

При реєстрації випромінювання рухомою системою виникає специфічний ефект спостереження - аберація світла: орієнтація оптичної осі вимірювального пристрою може не співпадати з напрямом променя. Проте аберація світла цікавитиме нас менше, ніж діаграма випромінювання рухомого джерела світла. Єдине, що ми вкажемо - максимальний кут аберації світла  $\theta_{\max}$ . Він відповідає випадку, коли система реєстрації рухається перпендикулярно променю:

$$\sin \theta_{\max} = \frac{V}{\sqrt{c^2 + V^2}} = \frac{V}{c_0} = \beta_V. \quad (18)$$

А надалі зосередимось на формулі (17), що зв'язує кути діаграм випромінювання. Привертає увагу така обставина: в правій частині (17) знаменник може набувати нульового значення (тобто, виникає особливість) при певних значеннях параметра  $\beta_u$ , найменше з яких:

$$\beta_u = \frac{1}{\sqrt{2}}. \quad (19)$$

Це вказує на те, що існує деяка критична швидкість руху джерела світла  $u_{кр}$ , яка розділяє всю область швидкостей (від 0 до  $c_0$ ) на дві області: докритичну та закритичну. Критична швидкість визначається з умови рівності швидкості світла в рухомому середовищі (3а) швидкості руху самого середовища:

$$u_{кр} = c = c_0 \sqrt{1 - \frac{u_{кр}^2}{c_0^2}}, \quad (20)$$

звідки

$$u_{кр} = \frac{c_0}{\sqrt{2}}, \quad (21)$$

що підтверджує співвідношення (19).

Це найбільш цікава особливість, яку ми розглянемо детальніше.

**Закритична релятивістська область.** Визначимо закритичну область як таку, що задовольняє єдину умову:

$$u \geq u_{кр} = \frac{c_0}{\sqrt{2}}. \quad (22)$$

Найголовнішою її ознакою є те, що у всіх тіл, які досягли цієї області, *повністю зникає будь-яке електромагнітне випромінювання в задню напівсферу*. Тіла перетворюються на своєрідні чорні діри, які вважатимемо за правильне називати *частковочорними*. На відміну від гравітаційних чорних дір, випромінювання в яких відсутнє в усіх напрямках, частковочорні діри випромінюють в межах вузького конуса, орієнтованого виключно в напрямі руху.

Спробуємо закономірності закритичного релятивістського випромінювання показати та пояснити з допомогою рис. 1. Основою для побудови рис. 1 є формула (7) додавання швидкостей. Для цього в кінець вектора швидкості руху середовища  $\vec{u}$  прикладемо вектор швидкості світла в рухомому середовищі  $\vec{c}$  в усіх можливих напрямках (кінець вектора  $\vec{c}$  опише в просторі сферу, а на рис. 1 – коло). При цьому результуючий вектор швидкості  $\vec{c}'$  утворюватиме певні кути  $\alpha$  з напрямом  $\vec{u}$ .

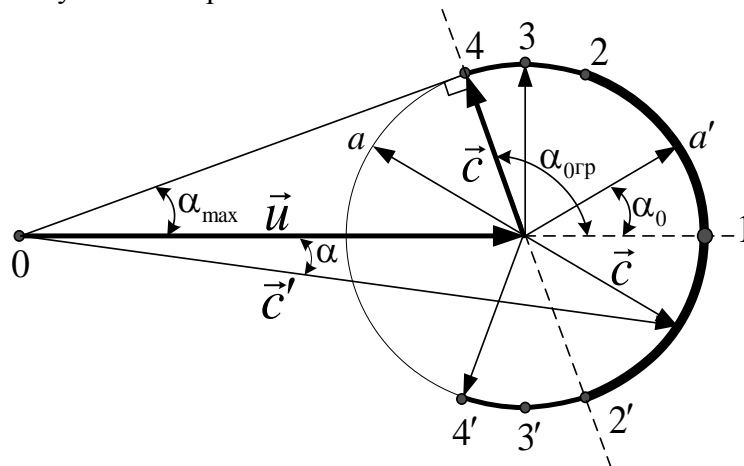


Рисунок 1. Застосування формули додавання швидкостей (5) для пояснення особливостей закритичного релятивістського випромінювання.

Максимальне значення цього кута  $\alpha$ , як видно з рис. 1, не перевищує значення  $\alpha_{\max}$ :

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{c}{u} = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\beta}. \quad (23)$$

За межі конуса з кутом розхилу  $\alpha_{\max}$  ніяке випромінювання не виходить. Для теплового випромінювання (ізотропного в рухомому середовищі) діаграма в межах розхилу буде



суцільною, зі збільшеною інтенсивністю випромінювання в секторі  $2, 2'$ . Для електричного та магнітного диполів діаграма суттєво залежить від орієнтації осі диполя відносно напрямку швидкості  $\vec{u}$  і може бути багатопелюстковою в межах кута  $\alpha_{\max}$ .

В закритичній області спостерігається особливий ефект *релятивістського невилітання квантів світла*, аналогічний такому явищу в геометричній оптиці, як повне внутрішнє відбивання. При досягненні кутом  $\alpha_0$  граничного значення  $\alpha_{0\text{гр}}$  (цей випадок на рис. 1 відмічено штриховою лінією), виконується умова:

$$c + u \cos \alpha_{0\text{гр}} = 0. \quad (24)$$

Тобто, результуюча швидкість світла в вакуумі, спроектована на напрям, помічений штриховою лінією, дорівнює нулеві. Подальше зростання цього кута (наприклад, випадок орієнтації вектора  $\vec{c}$ , позначений на рис. 1 літерою  $a$ ) приведе до того, що проекція цієї швидкості на напрям  $a$  стане меншою нуля. Інакше кажучи, в цих напрямках світло не здатне покинути рухоме середовище. Тому на межі середовища для таких випадків спостерігається своєрідний ефект «відбивання світла від вакууму» і, як і в явищі повного внутрішнього відбивання, подальше розповсюдження світла відбувається в напрямі, позначеному на рис. 1 літерою  $a'$ .

Таким чином, світло з сектору між точками  $4, 4'$  веде себе точно таким же чином, як і світло з сектору  $2, 2'$ . Тому ділянка  $2, 2'$  на рис. 1 показана вдвічі товщою, ніж ділянки  $4, 2$  та  $4', 2'$ . До речі, наявність ефекту невилітання світла обумовлює необхідність внесення уточнень в формулу (16) для ефекту Доплера, які б враховували і випадки випромінювання при кутах  $\alpha_0 > \alpha_{0\text{гр}}$ :

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos(\alpha_0)}; & \alpha_0 \leq \alpha_{0\text{гр}} \\ \omega &= \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos(\pi - \alpha_0)}; & \alpha_0 > \alpha_{0\text{гр}} \end{aligned} \quad (25)$$

Відповідно до (25) найвища частота випромінювання буде в напрямі швидкості (точка 1 на рис. 1), а найнижча – в напрямі кутів  $\alpha_{\max}$ , тобто, для точок  $4, 4'$ . При цьому для випадків  $\beta \rightarrow 1$  різниця в частотах може складати кілька порядків. Наприклад, якщо в напрямі точки 3 в спектрі переважає ІЧ компонента, то в напрямі точки 1 – жорстке рентгенівське випромінювання. Характерно, що при випромінюванні світла в сектори  $3, 4$  і  $3', 4'$  поляризація світла змінюється на протилежну, в той час як повне внутрішнє відбивання (сектор  $4, 4'$ ) зберігає поляризацію, змінюючи лише її ступінь.

Варто відмітити, що закритичне релятивістське випромінювання помічене досить давно, достатньо детально вивчене та знаходить все більше наукових і практичних застосувань. Воно відоме під назвами: магнітогальмівне (воно ж синхротронне та ондуляторне), випромінювання Черенкова, випромінювання космічних об'єктів – пульсарів. При цьому критична швидкість по (21) відділяє докритичну релятивістську область (циклотронне випромінювання) від закритичної (синхротронне випромінювання [7]). Це дає змогу перевірити перераховані вище закономірності в закритичній релятивістській області, зокрема на закономірностях синхротронного випромінювання [7].

Насамкінець, про фіксацію світла тілами, що мають закритичну швидкість. При поглинанні ними світла формули (18) та (19) для розрахунку ефекту Доплера та аберації світла залишаються в силі. Але найцікавішим є запитання про те, чи може взагалі відбиватись назад світло, яке наздоганяє тіло з закритичною швидкістю? Якщо процес відбивання розглядати як двохстадійний (спочатку поглинання, а потім перевипромінювання), то в задню напівсферу відбивання не повинно бути. Тобто, світло, що попадає на рухоме середовище в тілесний кут, обмежений векторами  $4$  та  $4'$  на рис. 1, ніколи не відбивається назад (ефект чорної діри). При інших кутах падіння відбивання



можливе. Та навіть в цьому випадку відбите світло можна спостерігати лише в межах конуса випромінювання, який орієнтований вперед, а не назад. Тобто, тіла з закритичними швидкостями є частковочорними дірами.

Зауважимо, що випромінювання рухомим середовищем будь-яких частинок (зокрема нейтрино) матиме переважну орієнтацію в напрямі руху. В зв'язку з цією обставиною та враховуючи особливості закритичного релятивістського випромінювання, як здається автору, появилась змога пролити світло на темну матерію [8]. Ми не знаємо, яка доля космічних об'єктів попала в закритичну область швидкостей, але вона може бути значною. І всі вони, фактично, зникли з нашого поля зору, хоч «гравітаційна» присутність їх у всесвіті добре відчутна.

**Висновки.** Таким чином, макроскопічна модель розглядає появу цілої низки релятивістських співвідношень обов'язковим атрибутом такого фізичного явища, як механічний рух. Це дає більш широкі можливості для передбачення, аналізу та пояснення явищ навколишнього світу.

### *Література*

1. Клапченко В.І., Тесля Ю.М. Ймовірнісна інтерпретація механічного руху. /Klapchenko, V.I. Teslya, Y.N. Probabilistic interpretation of mechanical motion. (<http://arxiv.org/find/all/1/all:+klapchenko/0/1/0/all/0/1>).
2. Einstein A. Zur Electrodynamik bewegter Körper. – Ann. d. Phys., 1905, Bd. 17, S. 891.
3. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - 328 с. (Pauli, W. (1958). Theory of relativity, Pergamon Press, Oxford, (English)).
4. Ritz W. Ann. de chim. et phys., 1908, v. 13, p. 145.
5. Lorentz H. A. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that light. Amst. Proc., 1904, v.6, h. 809.
6. Abraham M. Theorie d. Elektrizität. - Leipzig, 1908, t. 2.
7. Тернов И.М. Синхротронное излучение. – УФН, т. 165. №4, 1995. – с. 429-456.
8. Лукаш В.Н, Михеева Е.В. [Темная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной](#). – УФН, т. 177, № 10, 2007. – с. 1023 - 1028.



## ПРАВИЛА ПІДГОТОВКИ РУКОПИСІВ

1. В журналі друкуються наукові роботи за розділами: фундаментальні основи будівельної, гірничої і дорожньої техніки; механізація трудомістких робіт; нова будівельна, дорожня і гірнична техніка (вітчизняна і закордонна); автоматизація, комп'ютеризація і модернізація технологічних процесів і машин в цивільному, промисловому, дорожньому і меліоративному будівництві; стандартизація, експлуатація і ремонт будівельної, гірничої і дорожньої техніки; аварійно-рятувальна і інженерна техніка; основні законодавчі акти і постанови відносно цього переліку.
2. Матеріали статті, що представляють в редакцію, повинні мати: супровідний лист керівництва організації; рекомендацію відповідного підрозділу (завірену виписку з протоколу засідання кафедри); експертний висновок про можливість опублікування, оформлений в організації, звідки виходить рукопис; дозвіл Держпатенту на відкриту публікацію матеріалів по заявці на винахід; рецензію на статтю; реферат, в якому коротко викладений основний зміст рукопису (обсягом до 0,5 стор. тексту); дискету 1,44" з файлом статті (в тому числі рисунків, таблиць тощо). Стаття повинна бути відредагована і підписана всіма авторами із зазначенням дати відправки статті, точної поштової адреси і контактного телефону, e-mail (за наявності).
3. Редакція приймає рукописи у 2-х примірниках обсягом до 7 стор., включаючи літературу, що містить до 10 найменувань. Кількість ілюстрацій і таблиць за площею не повинна перевищувати 30 % від загального обсягу статті. Текст рукопису виконують на комп'ютері в форматі MS Word шрифтом Times New Roman Cyr розміром 12 з інтервалом 1; розмір назв рисунків, таблиць і літератури 11. Відступи від краю аркуша до тексту: зверху 25, зліва 20, справа 20, знизу 20, абзацний 10.
4. В заголовку статті (в лівому куті) вказують УДК, рядком нижче (похилим шрифтом) – ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені і вчені звання (звання в недержавних академіях не вказують); назву статті дають по центру рядка (великими буквами прямим жирним шрифтом).
5. Звертаємо увагу авторів, що відповідно до Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 "Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України" статті повинні мати наступні структурні елементи: постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз основних досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття; формулювання цілей статті; виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.
6. Ілюстративний матеріал виконується за допомогою графічних процесорів або шляхом сканування фотографій чи рисунків, виконаних тушшю. Рисунки, виконані за допомогою вбудованого у Word графічного редактора, не приймаються. Розмір ілюстрацій не більше 18×25 см. Ілюстрацій вставляють в текст без зв'язків із файлами-оригіналами.
7. Необхідно уникати застосування громіздкого математичного апарату. Формули в тексті набирають у Microsoft Equation 3 (розміром 12-7-5-16-12). Змінні, що позначаються латинськими літерами, друкуються курсивним шрифтом. Змінні, що позначаються символами грецької абетки або кирилиці, а також індекси слід подавати прямим шрифтом. Нумерація формул – по правому краю.
8. Посилання на літературу дають у квадратних дужках; бібліографічний опис – згідно з вимогами держстандарту (прикладі подані в Бюлетені ВАК України, № 2, 2000, С.61-62). В список вносять тільки опубліковані роботи.
9. Рукописи, не прийняті до опублікування, авторам не повертаються. Редакція має право скорочувати і вносити редакційні зміни тексту рукописів. Коректура статей авторам не надається. Гонорар за опубліковані статті не виплачуються. Рукописи, що не задовольняють перерахованим вимогам, до розгляду не приймаються.

*Наукове видання*

**ТЕХНІКА БУДІВНИЦТВА**  
Науково-технічний журнал

Випуск 26

Підписано до друку

Умовн. друк. арк. 12.04  
різогр.

Формат 60×84 1/8

Обл.-вид. арк. 12.5

Папір офсетний. Друк

Тираж 200. Зам. №

Адреса редакції: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31, т. 241-5447, т/ф. 252-4214