

ISSN 2413-8959

Техніка будівництва

Збірник наукових праць



Construction Engineering

Collection of scientific works

2(39), 2023

Construction Engineering

Техніка буді- вництва

Collection of
scientific works

Збірник
наукових праць

Issue 2(39)

Випуск 2(39)

2023

2023

Published since 1997

Видається з 1997 року

Kyiv National
University of Construction
and Architecture

Київський національний
університет будівництва і
архітектури

ISSN 2413-8959

Видається з 1997 р. двічі на рік

Засновники: Київський національний університет будівництва і архітектури,

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №22924-12824 ПР від 7.08.2017 р.

Головний редактор: *Назаренко І.І.*, д-р техн. наук, проф.

Заступник головного редактора: *Дєдов О.П.*, д-р техн. наук, доц.

Відповідальний секретар: *Мищук Є.О.*, к-т техн. наук, доц.

Редакційна колегія:

Кузьмінець М.П., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Саленко Ю.С., д-р техн. наук, проф. (м. Кременчук, Україна);

Кравець С.В., д-р техн. наук, проф. (м. Рівне, Україна);

Почка К.І., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Волошкіна О.С., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Кривомаз Т.І., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Шаманський С.І., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Ткаченко Т.М., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна)

Ужма Адам, д-р техн. наук, доц. (м. Ченстохова, Польща);

Левченко Л.О., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна);

Тихенко О. М., д-р техн. наук, проф. (м. Київ, Україна).

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 15 від 24.11.2023 р.

Усі права застережені. Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть автори публікацій.

Адреса редакції: 02000, м.Київ, проспект Повітрофлотський, 31, кім. 6036.

тел. +38 044 241-55-48, e-mail: motp@knuba.edu.ua

Редактор *Дьяченко О.С.*

Комп'ютерна верстка *Слюсар В.С.*

У Збірнику публікуються результати теоретичних і прикладних наукових досліджень, а також конструкторських робіт в галузі будівництва та будівельної техніки

Мова видання: українська, англійська

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2023

ЗМІСТ

<i>Галузеве машинобудування</i>	4
Леонід Хмара, Олександр Голубченко Дослідження робочого процесу косовстановленого відвального робочого органу із лопатевим сферичним метальником для керованого бічного транспортування ґрунту	4
Анатолій Свідерський, Микола Міщенко Динаміка та принципи конструювання віброударних трамбівок з гідроприводом	20
Іван Назаренко, Олег Дєдов, Олександр Дьяченко Огляд конструкцій навісних збудників коливань та дослідження їх параметрів і доцільність їх використання на вібраційних установках для покращення ущільнення залізобетонних виробів.....	29
Микола Ручинський Визначення пружних характеристик вібросистем будіндустрії.....	41
Ігор Косминський, Андрій Довгаль Основні показники керування якістю будівельної організації.....	48
<i>Технологія захисту навколишнього середовища</i>	50
Radomska Marharyta, Ratushnyuk Lesya, Yaroshenko Dmytro, Yarokhmedova Ivanna, Guz Valeriy, Melnychenko Vitaly Comparative analysis of strategies for adaptation of urban areas to climate changes	50
Mehdiyeva Nigar Zeydulla Mineralization of the subsoil water in the soil of the siyazan sumgayit massive	60

Галузеве машинобудування

УДК 621.878

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0201>

Леонід Хмара,

доктор технічних наук,
професор кафедри будівельних і дорожніх машин,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, м. Дніпро, 49005, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3050-9302>
E-mail: khmara.leonid@pdaba.edu.ua

Олександр Голубченко,

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри будівельних і дорожніх машин,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, м. Дніпро, 49005, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2971-1263>
E-mail: holumchenko.oleksandr@pdaba.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ КОСОВСТАНОВЛЕНОГО ВІДВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ІЗ ЛОПАТЕВИМ СФЕРИЧНИМ МЕТАЛЬНИКОМ ДЛЯ КЕРОВАНОГО БІЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ҐРУНТУ

АНОТАЦІЯ. Постановка проблеми. При виробництві земляних робіт одним із вирішальних факторів вибору землерийних машин для їх виконання є геометричні розміри, форма та об'єм земляних споруд. Серед них розповсюджені протяжні споруди у вигляді насипів та корит для автомобільних та залізничних доріг, меліоративні канали, а також земляні роботи по відділенню поверхневих шарів чорнозему, зворотної засипки траншей, будівництва оборонних об'єктів. Також експлуатаційні роботи по зимовому утриманню автомобільних доріг характеризуються протяжністю. Виконання вказаних робіт у більшості випадків потребує бічного переміщення ґрунту із резервів у земляну споруду при будівництві насипів, зворотної засипки або навпаки при спорудженні каналів, рівчаків, пошаровому зрізанні ґрунту з його видаленням. Відомо, що значно підвищити продуктивність виконання земляних робіт у цих випадках дозволяє використання землерийно-транспортних машин безперервної дії до серійних зразків яких відносяться бульдозери з косовстановленим відвалом, автогрейдер, грейдер-елеватори. Вони здатні забезпечити зрізання ґрунту та його бічне переміщення. Однак суттєвим недоліком землерийно-транспортних машин з косовстановленими відвалами – це неможливість транспортування ґрунту на значну відстань за його межі. Відстань бічного транспортування ґрунту грейдер-елеватором обмежується довжиною конвеєра. Збільшення відстані та висоти відсипки ґрунту створює необхідність збільшення габаритних розмірів та ваги машини із-за подовження транспортера, що робить машину важкою, громіздкою, неповоротною та малоефективною. Одним із напрямів вдосконалення машин для земляних робіт впровадження інтенсифікаторів, які дозволяють збільшити продуктивність та відстань бічного транспортування ґрунту. Тому підвищення ефективності відвальних робочих органів за рахунок впровадження інтенсифікаторів для збільшення відстані та зміни напрямку бічного транспортування ґрунту є актуальною проблемою. Мета статті. Підвищення ефективності керованого бічного транспортування ґрунту косовстановленим відвалом за рахунок використання лопатевого сферичного метальника. Висновок. Результатами випробувань в лабораторних умовах фізичної моделі запропонованої конструкції косовстановленого відвального робочого органу із лопатевим сферичним метальником для керованого бічного транспортування ґрунту підтверджена її працездатність та з'ясована фізична сутність робочого процесу. Виконані теоретичні дослідження робочого процесу копання ґрунту дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних, кінематичних та силових параметрів робочого органу та розробки методики його інженерного розрахунку.

Ключові слова: землерійно-транспортна машина, косовстановлений відвал, лопатевий сферичний метальник, фізична модель, теоретичні дослідження, параметри робочого процесу.

RESEARCH OF WORKING PROCESS OF SLANTING DUMP WORKING ORGAN WITH A BLADE SPHERICAL THROWER FOR THE GUIDED LATERAL PORTAGE OF SOIL

ABSTRACT. *Raising of problem. At the production of earthmovings one of determinatives of choice of earthmovers for their implementation are geometrical sizes, form and volumes of earthen building. Among them extensive objects are widespread as embankments and washtubs for and railway highways, reclamative channels, and also earthmovings on moving away of superficial layers of black earth, reverse filling up of trenches, building of defensive objects. Also operating works on winter maintenance of highways are characterized by an extent. Implementation of the indicated works in most cases requires transferring of soil from backlogs in earthen building at erection of embankment, reverse filling up or vice versa at building of channels, ditches, layer cutting away of soil with his moving away. It is known that considerably the use of earth-moving-transport machines of continuous action allows to promote the productivity of implementation of earthmovings in these cases to the serial standards of that bulldozers behave from by a by a braid dump, motor-graders, грейдер-элеваторы. They are able to provide cutting away of soil and his lateral moving. However a substantial lack of earth-moving-transport machines with by a braid dump is impossibility of portage of soil on considerable distance for his limits. Distance of lateral portage of soil of грейдер-элеватором is limited long conveyer. The increase of distance and height of landfilling creates the necessity of increase of overall sizes and weight of machine from lengthening of conveyer, that does a machine heavy, bulky, unturning and ineffective. One of directions of improvement of machines for earthmovings introduction of intensifiers allowing to increase the productivity and distance of lateral portage of soil. Therefore an increase of efficiency of dump working organs due to introduction of intensifiers for the increase of distance and change of direction of lateral portage of soil is the issue of the day. The purpose of the article. Increase of efficiency of the guided lateral portage of soil by a braid dump due to the use of blade spherical thrower. Conclusion. By the results of tests in the laboratory terms of physical model of the offered construction of косовстановленного of dump working organ with a blade spherical thrower for the guided lateral portage her capacity is confirmed and physical essence of working process is set. The executed theoretical researches of working process of digging of soil allowed to get mathematical models for determination of geometrical, kinematics and power parameters of working organ and development of methodology his engineer calculation.*

Keywords: earth-moving-transport machine, slanting dump, paddle spherical thrower, physical model, theoretical researches, parameters of working process.

1. Постановка проблеми. При виробництві земляних робіт одним із вирішальних факторів вибору машин для їх виконання є геометричні розміри, форма та об'єми земляних споруд. Серед них розповсюджені протяжні споруди у вигляді насипів та корит для автомобільних та залізничних доріг, меліоративні канали, а також земляні роботи по відділенню поверхневих шарів чорнозему, зворотної засипки траншей, будівництва оборонних об'єктів.

Основним видом робіт при будівництві доріг, що потребують виконання значної частини усіх земляних робіт, є зведення насипів та розробка виїмок. Земляне полотно автомобільної дороги, яке прокладається у рівній або пагорбній місцевості, при висоті насипу до 1,5 м зводиться з використанням ґрунту з неглибоких виїмок, що розташовані вздовж дороги. При такій організації робіт ґрунт переміщується у напрямі перпендикулярному до траси дороги на порівняно невеликі відстані – 25 м. Спорудження каналів при гідротехнічному будівництві виконуються переважно у виїмках з поперечним переміщенням ґрунту. Відстань переміщення ґрунту при цьому залежить від розмірів каналу. Вказані види земляних робіт мають великі об'єми і їх ефективно виконання можливе в першу чергу за рахунок машин безперервної дії. Прикладом створення машини безперервної дії для бічного транспортування ґрунту є оснащення бульдозера косовстановленим відвалом. Однак, суттєвим недоліком даного робочого обладнання є неможливість транспортування ґрунту на значну відстань за його межі. Аналогічно і конструкція робочого обладнання автогрейдера хоч і дозволяє висувати косовстановлений відвал за межі базової машини, але не забезпечує ефективного бічного транспортування ґрунту. Відстань бічного транспортування ґрунту грейдер-елеватором обмежується довжиною конвеєра. Збільшення цього параметру впливає на зростання матеріалоемності машини і енергоемності робочого процесу, на стійкість.

Усунути вказаний недолік дозволяє застосування у робочому обладнанні землерийно-транспортних машин ефективних транспортувальних пристроїв для зовнішнього транспортування ґрунту.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Один із напрямів удосконалення робочого обладнання машини для земляних робіт – інтенсифікація їх робочих процесів. Сучасні відомі технічні рішення інтенсифікаторів використовують механічні коливання, ультразвук, вибухові та ударні ефекти, змащення поверхонь тертя ґрунту стислим повітрям [1-3]. Але через складності їх конструктивної реалізації, виникнення додаткових динамічних навантажень на робоче обладнання, необхідність установа додаткового силового обладнання вони не отримали широкого впровадження [4,5]. Наразі більше ефективно застосування на землерийно-транспортних машинах механічних інтенсифікаторів переважно у вигляді додаткових транспортувальних пристроїв для завантаження ковша скрепера [6], збільшення об'єму призьми волочіння у машинах із відвальним робочим органом [7], збільшення відстані бічного транспортування ґрунту землерийно-транспортними машинами безперервної дії [8-10].

3. Мета роботи. Підвищення ефективності виконання земляних робіт землерийно-транспортними машинами з відвальними робочими органами за рахунок впровадження ефективних транспортувальних пристроїв для збільшення відстані та зміни напрямку бічного транспортування ґрунту.

4. Матеріали та методи. Запропоноване робоче обладнання бульдозера (рис. 1) з косоствановленим відвалом 1 та сферичним лопатевим метальником 2 з підшипниковою опорою 3 з приводом у вигляді редуктора 4 та гідродвигуна 5. На опорі 3 жорстко закріплена вертикальна стійка 6, яка за допомогою шарніра 7 з'єднана з кронштейном 8 на відвалі 1. Вертикальна вісь шарніра 7 проходить через центр сферичного лопатевого метальника 2. Вертикальна стійка 6 має гідропривід повороту у вигляді гідроциліндру 9.

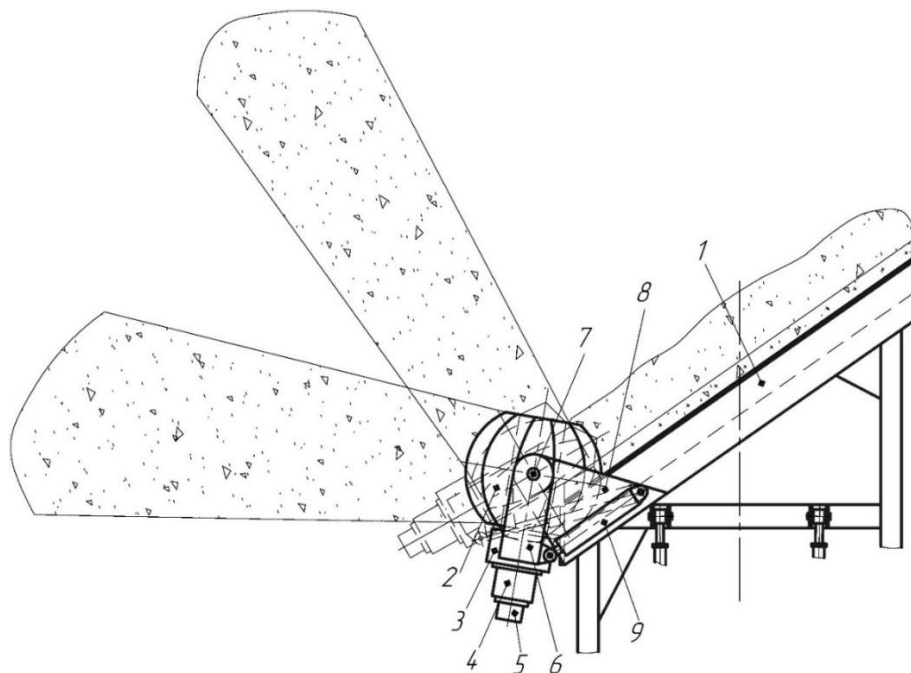


Рис. 1. Косовстановлений відвальний робочий орган із лопатевим сферичним метальником для керованого бічного транспортування ґрунту

Fig. 1. Obliquely installed dumper working body with a bladed spherical thrower for controlled lateral transportation of soil

Під час роботи обладнання ґрунт, що зрізується, підіймається по відвальній поверхні вгору і одночасно з цим рухається вздовж відвалу 1 в бік метальника 2. Після досягнення ґру-

нтом металника 2, він захоплюється його лопатями та метастеється у напрямі перпендикулярному до вісі обертання. Застосування сферичного лопатевого металника 2 дозволяє змінювати кут напряду метання. Для цього за допомогою гідроциліндру 9 здійснюється сумісний поворот вертикальної стійки 6 та металника 2 навколо шарніра 7. Сферична форма металника 2 забезпечує мінімальний просвіт між криволінійною поверхнею відвала 1 і лопатями металника 2.

Для підтвердження працездатності запропонованої конструкції виготовлено фізичну модель косовстановленого відвала із сферичним лопатевим металником у масштабі 1:5 відносно натурного зразка косо встановленого відвала, що використовується на базовому тракторі тягового класу 10 кН (рис. 2). Модель випробували на лабораторному стенді для дослідження робочого обладнання землерийно-транспортних машин кафедри будівельних та дорожніх машин ДВНЗ «ПДАБА». Копання ґрунту моделлю підтвердило працездатність запропонованого технічного рішення, встановлені такі особливості робочого процесу:

- різання ґрунту здійснюється повною довжиною різального ножа під кутом до напряду руху робочого обладнання з постійною товщиною;
- висоту призми волочіння поступово збільшується у напрямі переміщення ґрунту вздовж відвала;
- існує режим роботи при якому ґрунт, що копається відвалом, повністю транспортується сферичним лопатевим металником із змінним напрямком метання.

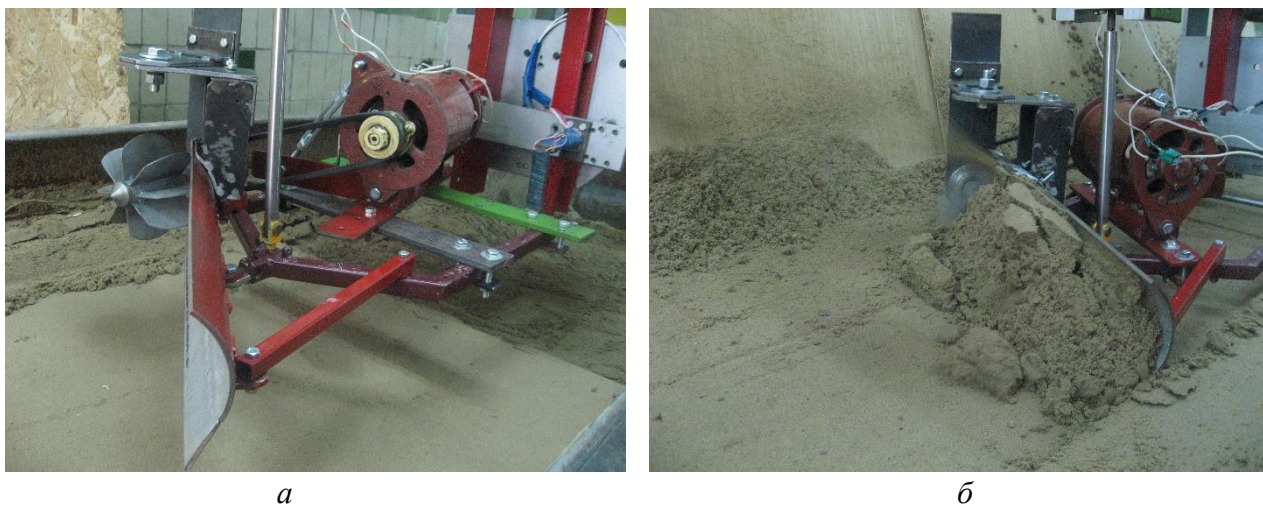


Рис. 2. Фізична модель косовстановленого відвала із сферичним лопатевим металником:

а – фізична модель; б – робочий процес копання ґрунту

Fig. 2. Physical model of an oblique dump with a spherical blade thrower:

a – physical model; b - work process of soil digging

На підставі теоретичних досліджень отримано математичну модель для визначення горизонтальної складової опору копанню ґрунту косовстановленим відвалом із сферичним металником у напрямі руху робочого обладнання. Застосовано математичні моделі для визначення складових опору копанню, що отримані на підставі теорії граничного стану ґрунту [4].

5. Результати. Кінцева математична модель для визначення горизонтальної складової опору копанню ґрунту косовстановленим відвалом із сферичним металником з урахуванням опору різання ґрунту, опору призми волочіння та горизонтальної складової опору підйому пласта по відвальній поверхні має вигляд:

$$W_K = \left(\sin \varphi_{zx} + tg \delta \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha_p} - \sin^2 \varphi_{zx}} \right) \cdot A_1 \cdot L \cdot h \cdot \left[\frac{\gamma \cdot g \cdot h}{2} + C_W \cdot ctg \rho + \frac{\sin \alpha_p}{K_{\psi} \cdot h} \times \right.$$

$$\begin{aligned}
 & \times (tg\delta + tg\rho) \cdot \gamma_p \cdot g \cdot \cos^2 \rho \cdot H_{cp}^2 \cdot K \cdot \arcsin \frac{1}{2 \cdot K} \cdot \left(1 + tg\delta \cdot \arcsin \frac{1}{2 \cdot K} \right) + \gamma_p \cdot g \cdot H_{cp} \Big] + \\
 & + \gamma_p \cdot g \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{(L - B_M) \cdot H_{cp}^2}{2} + \gamma_p \cdot g \cdot \cos \varphi_{зх} \cdot \cos \alpha_p \cdot \cos^2 \rho \cdot H_{cp}^2 \cdot (L - B_M) \times \\
 & \times \left[(tg\rho + tg\delta) \cdot H_{cp} \cdot K \arcsin \frac{1}{2 \cdot K} \cdot \left(1 + tg\delta \cdot \arcsin \frac{1}{2 \cdot K} \right) + K_\Psi \cdot h \right], \quad (1)
 \end{aligned}$$

де $\varphi_{зх}$ - кут захвата відвала; α_p - кут різання ґрунту; δ - кут зовнішнього тертя ґрунту; ρ - кут внутрішнього тертя ґрунту; L - довжина різального ножа; h - глибина різання ґрунту; C_W - зчеплення ґрунту; γ - густина суцільного ґрунту; γ_p - густина розпушеного ґрунту; B_M - ширина металника; H_{cp} - середня висота призми волочіння; A_1 - коефіцієнт, який визначається аналітично в залежності від кута різання ґрунту α_p .

Значення коефіцієнтів дорівнюють

$$K_\Psi = \frac{tg\alpha_p + tg\Psi}{tg\alpha_p \cdot tg\Psi}; \quad K = \frac{R}{H_e},$$

де $\Psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$ - кут зсуву; R - радіус кривизни лобової поверхні відвала; H_e - висота відвала.

Середня висота призми волочіння

$$H_{cp} = \sqrt{0,5 \cdot h \cdot (L - B_M) \cdot tg\rho}. \quad (2)$$

Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів процесу транспортування ґрунту косовстановленим відвалом з металником надана на рисунку 3.

Кут взаємодії металника із ґрунтом дорівнює

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 = \pi - \rho + \arctg \frac{H_{\max} - R}{R} - \arctg \left[\left(1 - \frac{H_{\max}}{R} \right) \cdot \cos \rho + \right. \\
 \left. + \sin \rho \cdot \cos \left(\arctg \frac{H_{\max} - R}{R} \right) \right]. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Кутові параметри взаємодії металника з ґрунтом дорівнюють

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= \arctg \frac{H_{\max} - R}{R}; \\
 \theta &= \arcsin \left[\left(1 - \frac{H_{\max}}{R} \right) \cdot \cos \rho + \cos \beta_1 \cdot \sin \rho \right]; \\
 \beta_2 &= \frac{\pi}{2} - (\theta + \rho); \\
 \alpha_0 &= \frac{\pi}{2} + \beta_1 + \beta_2.
 \end{aligned}$$

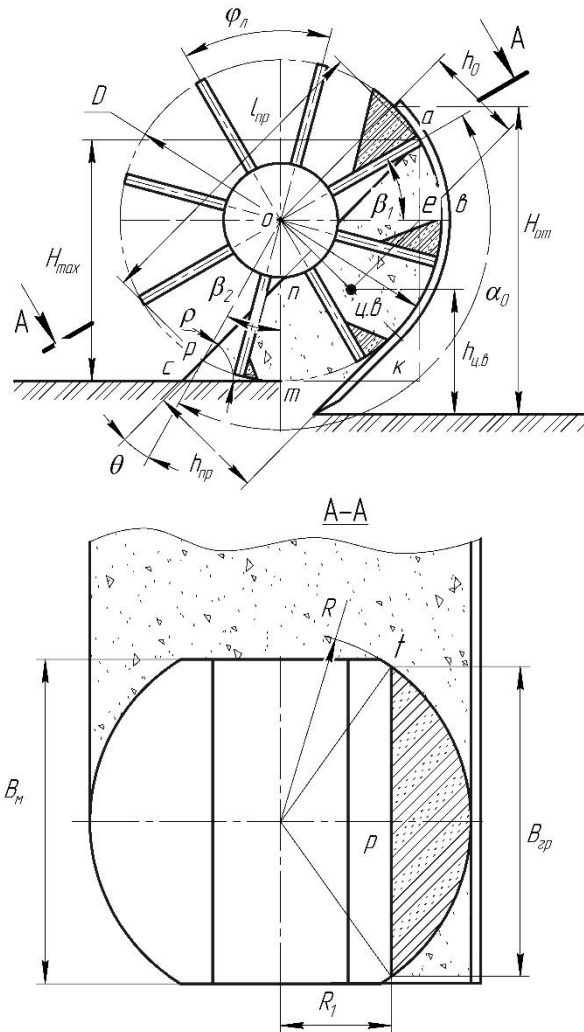


Рис.3. Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів процесу транспортування ґрунту косовстановленим відвалом із сферичним лопатевим метальником

Fig. 3. The calculation scheme for determining the geometric parameters of the soil transportation process with an oblique dump with a spherical blade thrower

Довжина межі вільної поверхні призми волочіння, що знаходиться у взаємодії з метальником дорівнює

$$l_{np} = H_{\max} \cdot ctg\rho - \frac{H_{\max} - R \cdot \cos\beta_1 \cdot tg\rho}{\sin\rho} + \frac{R \cdot \sin\beta_2}{\cos\rho} \quad (4)$$

Висота

$$h_{np} = R - 0,5\sqrt{4R^2 - l_{np}^2} \quad (5)$$

Площа поперечного перерізу призми волочіння, що захоплюється метальником

$$F_{np} = 0,5\left[R^2 \cdot \alpha_0 + l_{np} \cdot (R - h_{np})\right] \quad (6)$$

Відстань між віссю обертання метальника та центром ваги поперечного перерізу призми волочіння

$$h_0 = \frac{l_{np}^2}{12F_{np}} \quad (7)$$

Висота розташування центра ваги ґрунту у призмі волочіння, що потрапляє на металеньник

$$h_{цв} = R - h_0 \cdot \cos(0,5\alpha_0 - \beta_2). \quad (8)$$

Об'єм ґрунту, що знаходиться на лопаті металеньника при взаємодії її з призмою волочіння, складається з двох частин

$$V_L = V_1 + V_2, \quad (9)$$

де V_1 - об'єм ґрунту, що потрапляє на лопать з призми волочіння при її повороті на кут транспортування α_0 ; V_2 - об'єм ґрунту, що потрапляє на лопать безпосередньо з різального ножа відвала по ширині металеньника.

Для розрахунку V_1 потрібно врахувати, що лопаті металеньника при обертанні зрізують ґрунт призми волочіння, яка рухається вздовж відвальної поверхні. У зв'язку з цією особливістю, ширина стружки, що зрізується бічною стороною лопаті з призми волочіння, дорівнює шляху, який проходить ґрунт призми волочіння за проміжок часу $t_L = \varphi_L / \omega_0$, де φ_L - кутовий крок встановлення лопатей металеньника; ω_0 - кутова швидкість обертання металеньника. Тому, шлях ґрунту за час t_L дорівнює ширині стружки S , а саме

$$S = V_g \cdot \frac{\varphi_L}{\omega_0}, \quad (10)$$

де V_g - швидкість переміщення ґрунту вздовж лобової поверхні косовстановленого відвала

$$V_g = V_{\bar{m}} \cdot \sin \varphi_{zx}, \quad (11)$$

де $V_{\bar{m}}$ - швидкість переміщення базової машини.

З врахуванням виразів (6), (10), (11) об'єм V_1 дорівнює

$$V_1 = F_{np} \cdot V_{\bar{m}} \cdot \sin \varphi_{zx} \cdot \frac{\varphi_L}{\omega_0}. \quad (12)$$

При визначенні об'єму V_2 вважаємо, що він потрапляє на лопать із зони різання ґрунту за час t_L і тому буде дорівнювати

$$V_2 = B_m \cdot h \cdot V_{\bar{m}} \cdot \sin \varphi_{zx} \cdot \frac{\varphi_L}{\omega_0}. \quad (13)$$

Загальний об'єм ґрунту на лопаті на початку процесу метання

$$V_L = (F_{np} \cdot \sin \varphi_{zx} + B_m \cdot h) \cdot V_{\bar{m}} \cdot \frac{\varphi_L}{\omega_0}. \quad (14)$$

Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на лопаті на початку метання металеньником надана на рисунку 4.

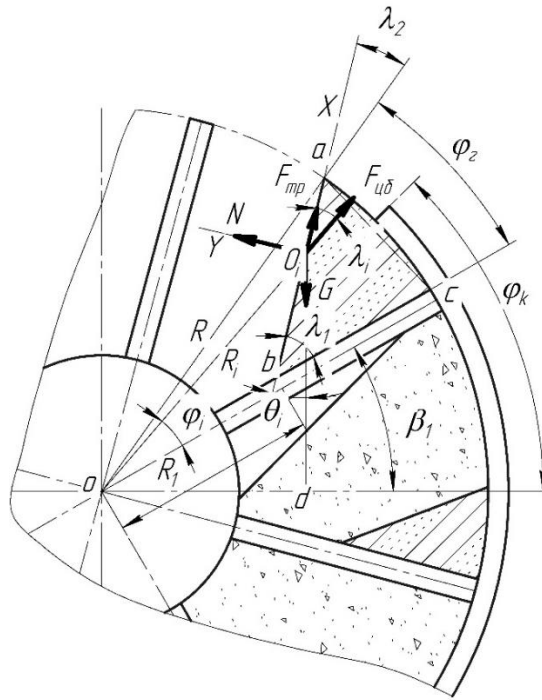


Рис.4. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на лопаті на початку метання

Fig. 4. Calculation scheme for determining geometric parameters of the volume of soil on the shovel at the beginning of throwing

Розглянемо умову рівноваги частки ґрунту на вільній поверхні максимального об'єму ґрунту на лопаті, яка знаходиться від вісі обертання на відстані R_i під кутом φ_i до поверхні лопаті.

Рівняння рівноваги в координатних осях XU мають наступний вигляд

$$\begin{cases} \sum F_x = 0; F_{тр} + F_{цб} \cdot \cos \lambda_i - G \cdot \cos \theta_i = 0, \\ \sum F_y = 0; N - F_{цб} \cdot \sin \lambda_i - G \cdot \sin \theta_i = 0, \end{cases} \quad (15)$$

де $F_{цб} = m \cdot \omega_0^2 \cdot R_i$ - відцентрова сила, що діє на частку ґрунту; $G = m \cdot g$ - вага частки; $F_{тр} = N \cdot \text{tg} \rho$ - сила тертя частки по вільній поверхні ґрунту; λ_i, θ_i - кути, що визначають положення векторів G та $F_{цб}$.

Після перетворень системи рівнянь (15) можна отримати рівність

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R_i}{g} = \frac{\cos(\theta_i + \rho)}{\cos(\lambda_i - \rho)}. \quad (16)$$

З врахуванням того, що кут $\theta_i = \frac{\pi}{2} - (\beta_1 + \varphi_i + \lambda_1)$ рівність (16) має вигляд

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R_i}{g} = \text{tg}(\lambda_i - \rho) \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_i) + \sin(\beta_1 + \varphi_i). \quad (17)$$

При $R_i = R_1$ та $\varphi_i = 0$ вираз (17) має наступний вигляд

$$\omega_0^2 \cdot R_1 / g = \text{tg}(\lambda_1 - \rho) \cdot \cos \beta_1 + \sin \beta_1. \quad (18)$$

Звідки кут λ_1 дорівнює

$$\lambda_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos \beta_1} - \operatorname{tg} \beta_1 \right) + \rho. \quad (19)$$

При $R_i = R$ та $\varphi_i = \varphi_2$ вираз (17) має наступний вигляд

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g} = \operatorname{tg}(\lambda_2 - \rho) \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2) + \sin(\beta_1 + \varphi_2) \quad (20)$$

З виразу (20) значення кута λ_2 дорівнює

$$\lambda_2 = \operatorname{arctg} \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi_2) \right] + \rho. \quad (21)$$

Із трикутника *oab* $\varphi_2 = \lambda_1 - \lambda_2$ і тоді з врахуванням формул (19) та (21) кут φ_2 дорівнює

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos \beta_1} - \operatorname{tg} \beta_1 \right) - \operatorname{arctg} \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi_2) \right]. \quad (22)$$

Площа радіального перерізу об'єму ґрунту на лопаті з трикутника *abc*

$$F = 0,5R \cdot (R - R_1) \cdot \sin \varphi_2 \quad (23)$$

і звідки

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{2 \cdot F}{R \cdot (R - R_1)}. \quad (24)$$

З іншого боку площу F можна виразити через об'єм ґрунту V_L на лопаті за формулою (14) та ширини ґрунту на лопаті B_{2p} (рис. 3).

$$F = \frac{3 \cdot V_L}{B_{2p}}. \quad (25)$$

З врахуванням (23) кут φ_2 дорівнює

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{3 \cdot V_L}{0,5 \cdot B_{2p} \cdot R \cdot (R - R_1)} = f(R_1). \quad (26)$$

Таким чином залежності (23) і (26) утворюють наступну систему рівнянь для визначення відстані R_1

$$\begin{cases} \varphi_r = \arcsin \frac{3 \cdot V_L}{0,5 \cdot B_{rp} \cdot R \cdot (R - R_1)}; \\ \varphi_r = \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos \beta_1} - \operatorname{tg} \beta_1 \right) - \operatorname{arctg} \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_r)} - \operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi_r) \right] \end{cases} \quad (27)$$

Розрахункова схема визначення кута розвантаження надана на рисунку 5. Після виходу об'єму ґрунту, що знаходиться на лопаті із взаємодії з захисним кожухом починається його

рух вздовж лопаті під дією відцентрової сили $F_{ев}$ (рис. 5, а). Після повороту лопаті на кут розвантаження α_p об'єм ґрунту повністю сходить з поверхні лопаті (рис. 5, б). Величина абсолютних швидкостей кінцевих точок b та c площі поперечного перерізу ґрунту складаються з векторів радіальних швидкостей V_0 , V_{01} перпендикулярних до поверхні лопаті та вектора V_d швидкості ґрунту вздовж лопаті.

Відстань між віссю обертання металника та центром ваги об'єму ґрунту вздовж лопаті

$$R_{1c} = R_1 + \frac{2}{3} \cdot (R - R_1). \quad (28)$$

Висота

$$a_c = \frac{R \cdot \sin \varphi_2}{3}. \quad (29)$$

Радіальна координата центра ваги

$$R_c = \sqrt{R_{1c}^2 + a_c^2}. \quad (30)$$

Кутова координата центра ваги

$$\alpha_c = \arcsin \frac{a_c}{R_c}. \quad (31)$$

Рівняння руху маси m ґрунту вздовж лопаті у напрямі X має вигляд

$$m\ddot{x} = m \cdot \omega_0^2 \cdot R_c \cdot \cos \alpha_{cm} - mg \cdot \sin \varphi_k + N \cdot \operatorname{tg} \delta = 0. \quad (32)$$

Реакція на ґрунт з боку лопаті

$$N = mg \cdot \cos \varphi_k - m \cdot \omega_0^2 \cdot R_c \cdot \sin \alpha_{cm}. \quad (33)$$

Після перетворення маємо

$$\ddot{x} = \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{\cos \delta} \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)]. \quad (34)$$

Враховуючи, що $\ddot{x} = d\dot{x}/dt$ можна записати вираз (34) у вигляді

$$d\dot{x} = \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{\cos \delta} \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)] \cdot dt. \quad (35)$$

Після інтегрування

$$\dot{x} = \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{\cos \delta} \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)] \cdot t + C_1. \quad (36)$$

При початкових умовах $t = 0$, $\dot{x} = 0$, $C_1 = 0$.

Далі після інтегрування виразу (36) отримаємо

$$x = \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{\cos \delta} \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)] \cdot \frac{t^2}{2} + C_2. \quad (37)$$

При початкових умовах $t = 0$, $x = 0$, $C_2 = 0$.

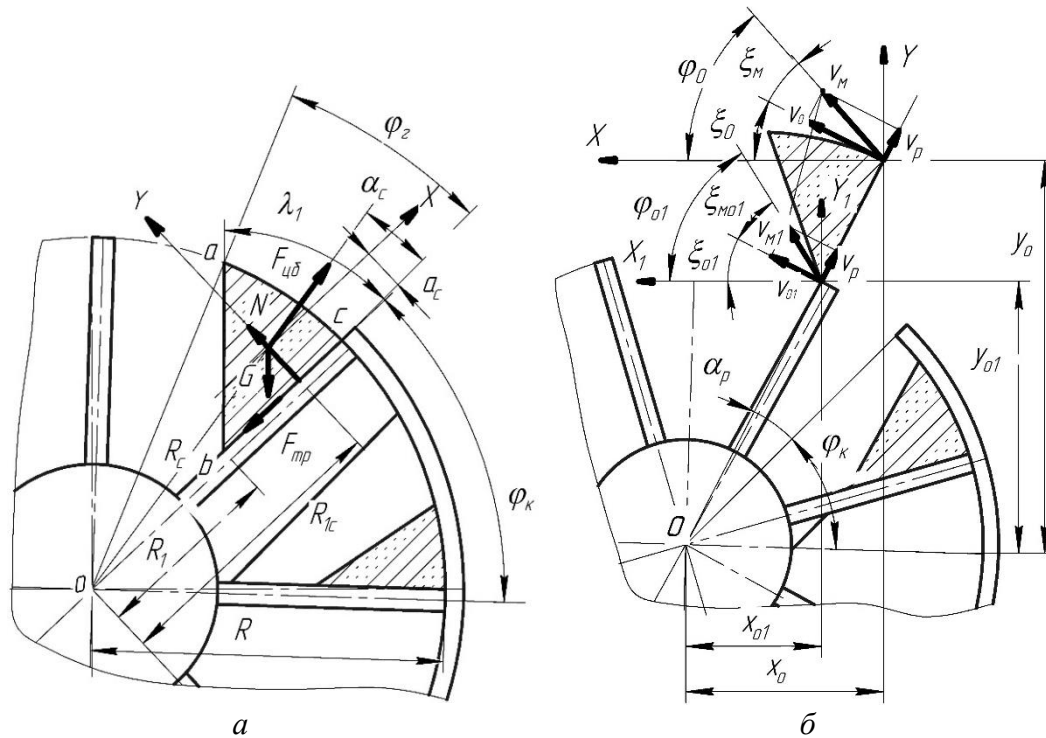


Рис. 5. Розрахункова схема визначення кута розвантаження лопатей метальника та початкових швидкостей метання:

а – початок сходу ґрунту з лопаті; б – кінець сходу ґрунту з лопаті

Fig. 5. Calculation scheme for determining the unloading angle of the thrower's blades and initial throwing speeds:

a – the beginning of soil emergence from the blade; b - the end of soil emergence from the shovel

За час розвантаження t_p ґрунт переміщується по лопаті на відстань $R - R_1$ і при цих значеннях вираз (37) має вигляд

$$R - R_1 = \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{\cos \delta} \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)] \cdot \frac{t_p^2}{2}. \quad (38)$$

Звідси час розвантаження t_p дорівнює

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot (R - R_1) \cdot \cos \delta}{\omega_0^2 \cdot R_c \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)]}}. \quad (39)$$

Швидкість ґрунту в кінці розвантаження V_p

$$V_p = \sqrt{2 \cdot (R - R_1) \cdot R_c \cdot \omega_0^2 \cdot \cos \delta \cdot [\cos(\delta - \alpha_{cm}) - g \cdot \sin(\varphi_k + \delta)]}. \quad (40)$$

Кут розвантаження метальника

$$\alpha_p = \omega_0 \cdot t_p. \quad (41)$$

Радіальні швидкості відповідно дорівнюють $V_{01} = \omega_0 \cdot R$, $V = \omega_0 \cdot (2 \cdot R - R_1)$, а їх кути нахилу $\xi_0 = \xi_{01} = 90^\circ - (\alpha_p + \varphi_k)$.

Кути $\xi_M = \arctg \frac{V_p}{V_0}$; $\xi_{M01} = \arctg \frac{V_p}{V_{01}}$; $\varphi_0 = \xi_0 + \xi_M$; $\varphi_{01} = \xi_{01} + \xi_{M01}$.

Відстані

$$\begin{aligned} x_0 &= (2R - R_1) \cos(\alpha_p + \varphi_k); \\ y_0 &= (2R - R_1) \sin(\alpha_p + \varphi_k); \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} x_{01} &= R \cdot \cos(\alpha_p + \varphi_k); \\ y_{01} &= R \cdot \sin(\alpha_p + \varphi_k). \end{aligned} \quad (43)$$

Рівняння траєкторії руху часток ґрунту кинутого під кутом φ_0 до горизонту із швидкістю V_m в координатних осях XU має вигляд

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_m^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}. \quad (44)$$

Згідно рисунку 6 в координатних осях XU при $x = l_{\max}$; $y = -(y_0 + R)$

$$-(y_0 + R) = l_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g \cdot l_{\max}^2}{2 \cdot V_m^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}. \quad (45)$$

Звідки

$$l_{\max} = V_m \cos \varphi_0 \frac{V_m \sin \varphi_0 + \sqrt{V_m^2 \sin^2 \varphi_0 + 2g(y_0 + R)}}{g}. \quad (46)$$

В координатних осях X_1U_1 при $x = l_{\min}$; $y = -(y_{01} + R)$

$$-(y_{01} + R) = l_{\min} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{01} - \frac{g \cdot l_{\min}^2}{2 \cdot V_{m1}^2 \cdot \cos^2 \varphi_{01}}. \quad (47)$$

Звідки

$$l_{\min} = V_{m1} \cos \varphi_{01} \frac{V_{m1} \sin \varphi_{01} + \sqrt{V_{m1}^2 \sin^2 \varphi_{01} + 2g(y_{01} + R)}}{g}. \quad (48)$$

Максимальна та мінімальна відстані метання ґрунту відносно вісі обертання металника дорівнюють

$$L_{\max} = l_{\max} - x_0; \quad (49)$$

$$L_{\min} = l_{\min} - x_{01}. \quad (50)$$

Максимальна та мінімальні відстані бічного транспортування ґрунту за межі відвала у напрямі перпендикулярному до напрямку руху базової машини (рис. 6) відповідно визначаються залежностями

$$L_{\bar{b}.\min} = L_{\min} \sin \varphi_{zx} - 0,5B_{cp} \cos \varphi_{zx} - b_{отв}; \quad (51)$$

$$L_{\bar{b}.\max} = L_{\max} \sin(\varphi_{zx} + \alpha_m) - 0,5B_{cp} \cos(\varphi_{zx} + \alpha_m) - b_{отв}, \quad (52)$$

де α_m - максимальний кут повороту сферичного металника навколо вертикальної вісі; $b_{отв}$ - відстань між вертикальною віссю повороту металника та бічною стороною відвала.

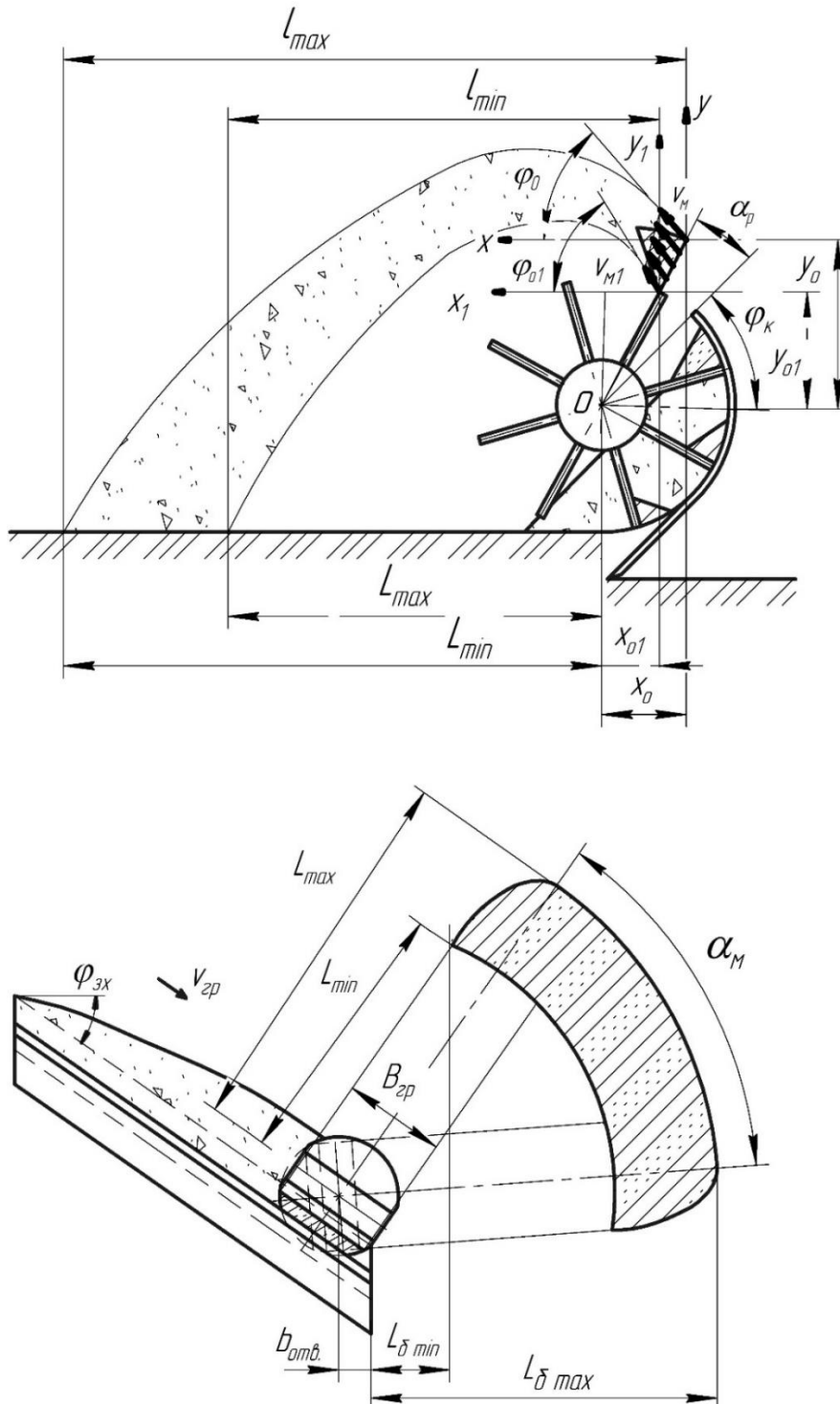


Рис. 6. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів процесу метання ґрунту
 Fig. 6. Calculation scheme for determining the geometric parameters of the soil throwing process

Для визначення енергетичних показників робочого процесу розглянемо баланс потужності бульдозерного обладнання, який має вигляд

$$N = N_k + N_n + N_p + N_{mp}, \quad (53)$$

де N_k - потужність на копання ґрунту косовстановленим відвалом, кВт; N_n - потужність на підйом ґрунту, кВт; N_p - потужність на розгін ґрунту, кВт; N_{mp} - потужність на подолання сил тертя по лобовій поверхні відвала при транспортуванні ґрунту металником, кВт.

Витрати потужності на копання ґрунту дорівнюють

$$N_K = \frac{\Pi_m \cdot E_K}{1000}, \quad (54)$$

де Π_m - теоретична продуктивність бульдозерного відвала у цілому, $\Pi_m = L \cdot h \cdot V_{\text{бм}} \cdot \cos \varphi_{\text{зх}}$, м³/с; E_K - енергоємність процесу копання, Н/м².

Витрати потужності на підйом ґрунту містять дві складові

$$N_n = N_1 + N_2, \quad (55)$$

де N_1 - витрати потужності на підйом ґрунту, який подається на металник з призми волочіння; N_2 - витрати потужності на підйом ґрунту, який зрізується різальним ножом відвала по ширині металника B_M .

Потужність N_1 дорівнює

$$N_1 = \frac{\Pi_{m1} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot (H_{\text{max}} - h_{\text{цв}})}{1000}, \quad (56)$$

де $\Pi_{m1} = (L - B_M) \cdot h \cdot V_{\text{бм}} \cdot \cos \varphi_{\text{зх}}$ - продуктивність бульдозерного обладнання по ґрунту, який потрапляє після його різання у призму волочіння; γ_p - густина розпушеного ґрунту; K_p - коефіцієнт розпушення ґрунту.

Потужність N_2 дорівнює

$$N_2 = \frac{\Pi_{m2} \cdot g \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot H_{\text{max}}}{1000}, \quad (57)$$

де $\Pi_{m2} = B_M \cdot h \cdot V_{\text{бм}} \cdot \cos \varphi_{\text{зх}}$ - продуктивність бульдозерного обладнання по ґрунту, який потрапляє після його різання безпосередньо на металник.

Витрати потужності на розгін ґрунту

$$N_p = \Pi_m \cdot \gamma_p \cdot K_p \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot R_c^2}{2000}, \quad (58)$$

де R_c - відстань між віссю обертання та центром ваги об'єму ґрунту на лопаті в момент початку метання; ω_0 - кутова швидкість обертання металника.

Для визначення витрат потужності на подолання сил тертя ґрунту по лобовій поверхні відвала, враховуємо, що ґрунт на лопаті металника потрапляє за час t_0 його повороту на кут

$$\alpha_0. \text{ Час } t_0 = \frac{\alpha_0}{\omega_0}.$$

За цей час об'єм ґрунту, який потрапляє на лопаті металника з призми волочіння дорівнює

$$V_{np} = F_{np} \cdot V_{\text{бм}} \cdot t_0 \cdot \sin \varphi_{\text{зх}}. \quad (59)$$

Об'єм ґрунту, що потрапляє на лопаті металника з різального ножа відвала за час t_0 визначається формулою

$$V_{pn} = B_M \cdot h \cdot V_{\text{бм}} \cdot K_p \cdot t_0 \cdot \cos \varphi_{\text{зх}}. \quad (60)$$

Загальна маса ґрунту на лопатях під час транспортування

$$m_{zp} = \gamma_p V_{\bar{b}_M} (F_{np} \sin \varphi_{zx} + B_M h K_p \cos \varphi_{zx}) \frac{\alpha_0}{\omega_0}. \quad (61)$$

Відцентрова сила, що діє на масу m_{zp}

$$F_{вц} = \gamma_p \cdot V_{\bar{b}_M} \cdot \omega_0 \cdot R \cdot \alpha_0 (F_{np} \cdot \sin \varphi_{zx} + B_M \cdot h \cdot K_p \cdot \cos \varphi_{zx}). \quad (62)$$

Сила тертя між ґрунтом на лопатях та лобовою поверхнею відвала

$$F_{тр} = \gamma_p \cdot V_{\bar{b}_M} \cdot \omega_0 \cdot R \cdot \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \delta (F_{np} \cdot \sin \varphi_{zx} + B_M \cdot h \cdot K_p \cdot \cos \varphi_{zx}). \quad (63)$$

Потужність N_{mp} визначається як

$$N_{mp} = \frac{\gamma_p \cdot V_{\bar{b}_M} \cdot \omega_0^2 \cdot R^2 \cdot \alpha_0 \cdot \operatorname{tg} \delta}{1000} (F_{np} \cdot \sin \varphi_{zx} + B_M \cdot h \cdot K_p \cdot \cos \varphi_{zx}). \quad (64)$$

Повна енергоємність робочого процесу, $\text{кВт} \cdot \text{с} / \text{м}^3$

$$E = \frac{N}{L \cdot h \cdot V_{\bar{b}_M} \cdot \cos \varphi_{zx}}. \quad (65)$$

6. Висновки. Результатами випробувань в лабораторних умовах фізичної моделі запропонованої конструкції косовстановленого відвального робочого органа із лопатевим сферичним металником для керованого бічного транспортування ґрунту підтверджена її працездатність та з'ясована фізична сутність робочого процесу.

Виконані теоретичні дослідження робочого процесу копання ґрунту дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних, кінематичних та силових параметрів робочого органа та розробки методики його інженерного розрахунку.

Список використаних джерел:

1. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П. та ін. (2014) *Машини для земляних робіт: Підручник*. Харків: ХНАДУ. – 548 с.
2. Баловнев В. И., Хмара Л. А. (1983) *Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве*. М.: Транспорт, 384 с.
3. Хмара Л. А., Колісник М. П., Станевський В. П. (1992) *Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин*. К.: Будівельник, 152 с.
4. Баловнев В. И., Хмара Л. А. (1993) *Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве*. – М.: Транспорт, 383 с.
5. Деревянчук М. И. (2000) Анализ баланса мощности радиального роторно-лопастного метателя грунта для заполнения ковша скрепера // *Сборник научных трудов ПГАСА «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин»*. Выпуск 10. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Днепропетровск. – С. 54-63.
6. Голубченко О. І., Хожило М.Е. (2008) Тенденції вдосконалення конструкції відвальних робочих органів для збільшення об'єму призми волочіння. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – № 6-7. – С. 42 – 46.
7. Голубченко О. І., Хожило М.Е. (2009) Розробка робочого обладнання землерийно-транспортної машини безперервної дії. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование*. – Вып. 51.– С. 110-113.
8. Голубченко О. І., Хожило М.Е. (2010) Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидального типу для землерийно-транспортних машин безперервної дії. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование*. – Вып. 57.– С. 36-45.

9. Голубченко О. І. Хожило М.Е. (2011) Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 6-7. – С. 48 – 55.
10. Голубченко О. І. (2012) Конструкції та застосування різально-метальних органів для інтенсифікації робочих процесів землерійно-транспортних машин. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 66.– С.296-302.

References

1. Hmara, L.A., Kravets, S.V., Skoblyuk, M.P. (2014). *Mashini dlya zemlyanikh robot: Pidruchnik [Machines for earthmovings: Textbook]*. Harkiv: HNADU. - (in Ukrainian)
2. Balovnev, V.I., Khmara, L.A. (1983). *Intensifikatsiya zemlyanykh rabot v dorozhnom stroitelstve [Intensification of earthmovings is in travelling building]*. Moscow: Transport. - (in Russian)
3. Khmara, L.A., Kolisnik, M.P., Stanevskiy, V.P. (1992). *Modernizatsiya ta pidvishchennya produktivnosti budivelnykh mashin [Modernisation and increase of the productivity of building machines]*. Kyiv: Budivelnik. - (in Ukrainian)
4. Balovnev, V. I., Khmara, L. A. (1993). *Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitelstve [Intensification of development of soils is in travelling building]*. Moscow: Transport. - (in Russian)
5. Derevyanchuk, M. I. (2000). Analiz balansu moschnosti radialnogo rotorno-lopastnogo metatelya grunta dlya zapolneniya kovsha skrepera [Statement of power of radial rotor-blade thrower of soil analysis for filling of scoop of dragshovel]. *Sbornik nauchnykh trudov PGASA «Intensifikatsiya rabochih protsessov stroitelnykh i dorozhnykh mashin». Vyipusk 10. Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie [Collected scientific works of the PGAAS "Intensification of the working processes of construction and road machines". Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment], Issue 10, 54-63.* - (in Russian)
6. Golubchenko, O.I., Hozhilo, M.E. (2008). Tendentsiyi vdoskonalennya konstruktsiyi vidvalnih robochih organiv dlya zbilshennya ob'emnu prizmi volochinnya [Tendencies of perfection of construction of dump working organs are for the increase of volume of prism of dragging]. *Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi [News of Pridniprovsk State Power Academy of Architecture and Architecture], 6-7, 42 – 46.* - (in Ukrainian)
7. Golubchenko, O.I., Hozhilo, M.E. (2009). Rozrobka robochogo obladdannya zemleriyno-transportnoyi mashini bezperervnoyi diyi [Development of working equipment of an earth-moving-transport machine of continuous action]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie [Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment], 51, 110-113.* - (in Ukrainian)
8. Golubchenko, O.I., Hozhilo, M.E. (2010). Kinematichni osoblivosti protsesu transportuvannya gruntu gvintovim robochim organom rizalno-kidalnogo tipu dlya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoyi diyi [Kinematics features of process of transporting of soil by the spiral working organ of cutting-missile type for earth-moving-transport machines of continuous action]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie [Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment], 57, 36-45.* - (in Ukrainian)
9. Golubchenko, O.I., Hozhilo, M.E. (2011). Oglyad ta propozitsiyi konstruktsiy aktivnogo robochogo obladdannya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoyi diyi [Review and suggestions of constructions of active working equipment of earth-moving-transport machines of continuous action]. *Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi [News of Pridniprovsk State Power Academy of Architecture and Architecture], 6-7, 48 – 55.* - (in Ukrainian)
10. Golubchenko, O.I. (2012). Konstruktsiyi ta zastosuvannya rizalno-metalnih organiv dlya intensifikatsiyi robochih protsesiv zemleriyno-transportnih mashin [Constructions and applications of cutting-missile organs are for intensification of working processes of earth-moving-transport machines]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie [Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment], 66, 296-302.* - (in Ukrainian)

УДК 69.00.25

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0202>

Анатолій Свідерський,

кандидат технічних наук,
професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів,
Київський національний університет будівництва та архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0005-7969>

E-mail: sviderskyi.at@knuba.edu.ua

Микола Міщенко,

студент,
Київський національний університет будівництва та архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна

ДИНАМІКА ТА ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРОУДАРНИХ ТРАМБІВОК З ГІДРОПРИВОДОМ

***АНОТАЦІЯ:** В статті розглянута динаміка тримасної віброударної трамбівки, представлена динамічна модель, рівняння руху коливальної системи та її аналіз.*

***Ключові слова:** амплітудно-частотні характеристики, ротаційний гідророзподільник, динамічна модель, межа міцності, модуль пружності.*

DYNAMICS AND PRINCIPLES OF DESIGN OF HYDRAULIC DRIVE VIBRO-IMPACT RAMMERS

***ABSTRACT:** The article examines the dynamics of a three-mass vibrating rammer, presents a dynamic model, the equations of motion of an oscillating system and its analysis.*

***Keywords:** amplitude-frequency characteristics, rotary hydraulic distributor, dynamic model, strength limit, modulus of elasticity.*

1. Постановка проблеми. Зростаючі вимоги до виконання будівельних робіт вимагають вдосконалення та розробки нового віброущільнюючого обладнання. Такою є і конструкція гідравлічної трамбівки, яка теоретично має суттєві переваги перед подібними машинами.

Ущільнення ґрунтів, здійснюється, як правило, трамбуєчими плитами при великих об'ємах робіт, катками та навісними трамбівками. Ефективність використання цього класу машин визначається достатньо коректним врахуванням виникаючих сил опору середовища, яке під дією вібрації змінює свій стан і щільність. Пошук уточнених методів врахування сил опору є задачею актуальною.

2. Аналіз досліджень. Існуючі методи розрахунку динамічної системи „машина – середовище” засновані на визначенні сталого значення сил опору середовища на дію робочого органу віброущільнюючої машини

Такий метод рішення має сенс за умов ущільнення вібромайданчиками, оскільки навантаження на робочий орган не змінює свого положення у просторі. Інша ситуація, коли є безпосередній

контакт робочого органу із середовищем, оскільки в процесі ущільнення можливе значне зміщення робочого органу (наприклад, віброкаток чи вібротрамбовка), що впливає на параметри машини і в кінцевому результаті на ефективності процесу.

3. Мета роботи. Метою статті є дослідження впливу напружено-деформованого стану пружно-пластичного середовища для забезпечення заданого режиму роботи гідравлічної трамбівки та дослідження її динамічної моделі.

4. Матеріали та методи. За динамічну модель гідравлічної трамбівки прийнята система із трьома ступенями вільності (рис . 1.1) із наступними припущеннями :

1) навантаження на поршень гідро циліндра складаються з сил :

- сухого тертя , постійної по значенню та напрямку (силою в'язкого тертя нехтуємо ;
- пружності ;
- в'язкого опору ;
- інерції ;

2) тиск , температура та в'язкість робочої рідини постійні ;

3) робоча рідина не стискається та стінки гідро циліндра не деформуються ;

4) зміна сили пружності , яка виникає в підвісці ударної маси та корпусу , відбувається за законом Гука ;

5) опором під'єднуючих трубопроводів можна знехтувати ;

6) хвильові процеси у трубопроводах відсутні ;

7) золотник та поршень симетричні , початкове перекриття робочих вікон золотника дорівнює нулю ;

8) режим руху робочої рідини у з'єднувальних трубопроводах турбулентний ;

9) перетікання між порожнинами гідро циліндра та витікання пропорційні відповідним перепадам тисків.

Досліджувана система складається з : маси m_1 – ударника ; маси m_2 – верхньої маси трамбівки ; маси m_3 – маси ущільнюючої плити разом із приєднаною масою ґрунту .

Коливання мас збуджується гідравлічним вібратором (циліндром) із силою тяги F_2 . Зіткнення мас m_1 та m_3 відбувається через пружний елемент (резиновий буфер) жорсткістю c_4 та коефіцієнтом опору b_4 . Взаємне пересування мас забезпечується за рахунок пружних елементів (підвіски ударника) жорсткістю c_1 із коефіцієнтом опору b_1 та пружних елементів ущільнюючої плити жорсткістю c_2 із коефіцієнтом опору b_2 . Коливання конструкції трамбівки відбувається на ґрунті зі змінною жорсткістю c_3 та змінним коефіцієнтом опору b_3 .

5. Виклад основного матеріалу. Розрахункова схема дослідної моделі співпадає із динамічної . Її динаміка описується рівнянням руху мас та рівнянням гідравлічної вимушеної сили .

Рівняння руху ударника (маси m_1) :

$$m_1 \ddot{x}_1 + b_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - b_4 (\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_1 (x_1 - x_2) - c_4 (x_1 - x_3) = F_2, \quad (1)$$

де x_1, x_2, x_3 , м – переміщення мас m_1, m_2, m_3 ; $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3$, м/с – швидкості мас m_1, m_2, m_3 ; \ddot{x}_1 , м/с² – прискорення маси m_1 ; $F_2 = S \cdot \Delta p$, Н – гідравлічна вимушуюча сила ; $S_{\text{цил}}$, м² – площа циліндра .

Рівняння руху верхньої маси (корпусу) m_2 :

$$m_2 \ddot{x}_2 - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - b_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_1 (x_1 - x_2) - c_2 (x_2 - x_3) = -F_2, \quad (2)$$

де \ddot{x}_2 , м/с² – прискорення маси m_2 ; b_1, b_2 , Н/м – коефіцієнти демпфування пружних елементів ударника та ущільнюючої плити ; c_1, c_2 , Н/м – коефіцієнти жорсткості пружних елементів ударника та ущільнюючої плити .

Рівняння руху ущільнюючої плити :

$$m_3 \ddot{x}_3 + b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - b_3 \dot{x}_3 + b_4 (\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_2 (x_2 - x_3) - c_3 x_3 + c_4 (x_1 - x_3) = 0, \quad (3)$$

де $\ddot{x}_3, \text{ м/с}^2$ – прискорення маси m_3 ; $m'_3 = m_3 + m_{\text{кр}}$, кг – коливальна маса ущільнюючої плити разом із приведеною масою будівельної суміші.

Враховуючи, що рух ударника, який викликаний гідравлічною вимушеною силою, обмежується номінальною подачею насоса та нерозривністю потоку робочої рідини, запишемо рівняння зв'язку:

$$S_{\text{цил}}(\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2) = \mu \cdot f_{\text{ш}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_0 - \Delta p)}{\rho}}, \quad (4)$$

де $\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2 \leq Q_{\text{н}}/S_{\text{цил}}$ – швидкість висування поршня штока; $Q_{\text{н}}, \text{ м}^3/\text{с}$ – номінальна подача гідронасоса; μ – коефіцієнт витрат через робоче вікно гідророзподільника; $p_0 = p_{\text{н}} - p_{\text{зл}} - F_{\text{тр}}/S_{\text{цил}} - p_{\text{труб}}$, Па – максимальний тиск, створюваний насосом у напірній порожнині циліндра; $p_{\text{н}}, \text{ Па}$ – номінальний тиск у гідросистемі; $p_{\text{зл}}, \text{ Па}$ – тиск на виході із зливної порожнини циліндра; $\rho, \text{ кг/м}^3$ – питомий об'єм робочої рідини; $p_{\text{труб}}, \text{ Па}$ – втрати тиску у трубопроводах, враховуючи їх дуже малі значення, можна прийняти це значення = 0; $F_{\text{тр}}, \text{ Н}$ – сила тертя ущільнень поршня у циліндрі [17, 18, 22]:

$$F_{\text{тр}} = 1,7 \cdot p_{\text{н}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ц}} \cdot l_1 \cdot f_{\text{рез}}, \quad (5)$$

де $D_{\text{ц}}, l_1, m$ – діаметр та довжина поверхні контакту поршня із циліндром; $f_{\text{рез}}$ – коефіцієнт тертя резини по сталі.

Виділимо проміжну змінну Δp у рівнянні (2.7):

$$\Delta p = p_0 - \frac{1}{\mu^2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{S_{\text{цил}}^2 \cdot (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2}{f_{\text{ш}}^2}. \quad (6)$$

Згідно із [1, 11, 35] коефіцієнт витрат для дроселюючих отворів, відмінних від класичної форми, необхідно визначати експериментально. Тому для нашої схеми використовуємо дослідження Башти Т. М. [8, 9]:

$$\Delta p = p_0 - \Delta p_{\text{розп}}, \quad (7)$$

де $\Delta p_{\text{розп}} = \Delta p_1 + \Delta p_2$ – втрати тиску на розподільнику; $\Delta p_1, \text{ Па}$ – втрати тиску від в'язкості:

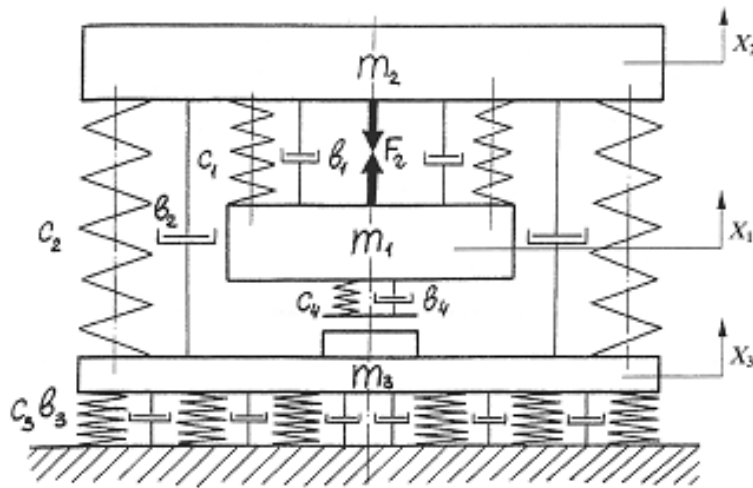
$$\Delta p_1 = \frac{1}{40} \cdot \nu \cdot \frac{v_{\text{ш}}^2}{2g}, \quad (8)$$

де $\nu, \text{ сСт}$ – кінематична в'язкість рідини; $\Delta p_2, \text{ Па}$ – втрати тиску від опору при перетіканні крізь отвір розподільника;

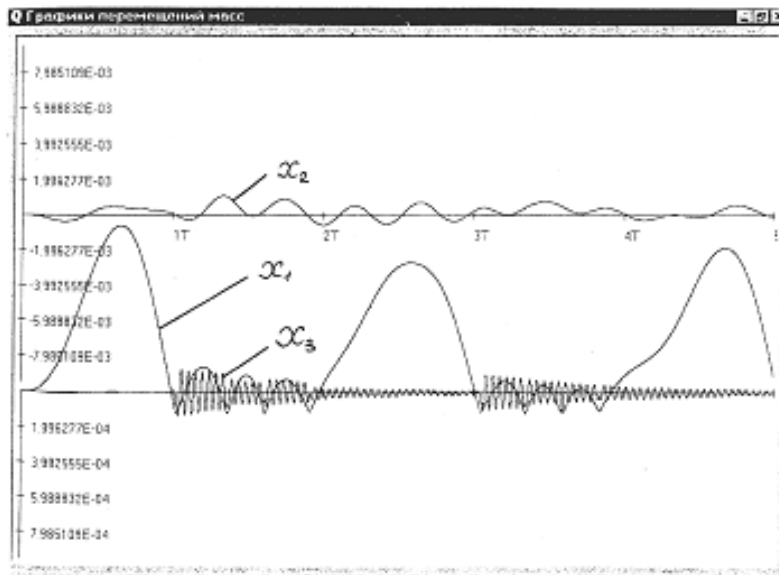
$$\Delta p_2 = \xi \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot v_{\text{ш}}^2 = 0,5 \left(1 - \frac{f_{\text{ш}}}{F_{\text{вз}}} \right) \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{S_{\text{цил}}^2 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2}{f_{\text{ш}}^2}, \quad (9)$$

де $\xi = 0,5 (1 - f_{\text{ш}}/F_{\text{вз}})$ – безрозмірний коефіцієнт опору; $F_{\text{вз}}$ – ефективна площа впускного вікна розподільника; $\gamma, \text{ Н/м}^3$ – питома вага робочої рідини; $v_{\text{ш}}, \text{ м/с}$ – швидкість протікання рідини через дроселюючий отвір:

$$v_{\text{ш}} = \frac{Q_{\text{цил}}}{f_{\text{ш}}} = \frac{S_{\text{цил}} (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)}{f_{\text{ш}}}. \quad (10)$$



а)



б)

Рис . 1.1. Розрахункова схема трамбівки :
а – динамічна модель ; б – комп’ютерна розгортка коливань моделі

Fig . 1.1. Rammer calculation scheme:
a – dynamic model; b – computer scan of model oscillations

У порівнянні із Δp_2 , Δp_1 має дуже мале значення і при розрахунках більшістю авторів не враховується : $\Delta p_1 \approx 0$. Тоді для проміжної змінної Δp із $(2 \cdot 10)$ маємо :

$$\Delta p = p_0 - 0,5 \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{ш}}}{F_{\text{вз}}}\right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{S_{\text{ш}}^2 \cdot (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2}{f_{\text{ш}}^2} \tag{11}$$

Порівнявши (9) та (14), отримаємо залежність коефіцієнта витрат μ ротаційного розподільника від площі відкриття впускного отвору $f_{\text{ш}}$:

$$\mu = \sqrt{\frac{2}{\left(1 - \frac{f_{ш}}{F_{B3}}\right)}} \quad (12)$$

Виділимо прискорення мас m_1, m_2, m_3 і запишемо систему рівнянь у зручному для розрахунків вигляді :

$$\begin{aligned} \frac{dV_1}{dt} &= \frac{1}{m_1} \cdot \left[S_{цилл} \cdot p_n - F_{тр} - \frac{S_{цилл}^3 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2 \rho}{2 \cdot f_{ш}^2} \cdot \left(0,5 + \frac{f_{ш}}{2 \cdot F_{B3}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - b_1 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2) + b_4 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2) + c_1 (\chi_1 - \chi_2) + c_2 (\chi_1 - \chi_3) \right]; \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{1}{m_2} \cdot \left[-S_{цилл} \cdot p_n + \frac{S_{цилл}^3 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2 \rho}{2 \cdot f_{ш}^2} \cdot \left(0,5 + \frac{f_{ш}}{2 \cdot F_{B3}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - b_2 (\dot{\chi}_2 - \dot{\chi}_3) + b_1 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2) + c_1 (\chi_1 - \chi_2) + c_2 (\chi_1 - \chi_3) \right]; \\ \frac{dV_3}{dt} &= \frac{1}{m_3} \cdot \left[-b_2 (\dot{\chi}_2 - \dot{\chi}_3) + b_3 \dot{\chi}_3 - b_4 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_3) - c_2 (\chi_2 - \chi_3) + \right. \\ &\quad \left. + c_3 \chi_3 - c_4 (\chi_1 - \chi_3) \right]; \end{aligned} \quad (13)$$

Як відзначалось, досліджувана система має три характерні періоди руху: період робочого ходу, період удару та період зворотного ходу (руху вгору) ударника. Система рівнянь (16) описує всі періоди, алеб потрібно враховувати такі фактори:

1) Рух поршня, а з ним і маси m_1 , почнеться лише тоді, коли теоретично можлива гідравлічна сила $F_2 = S_{цилл} p_n$ буде більше суми сил гідравлічного опору системи, тобто при $f_{ш}$, знайденому із рівняння:

$$S_{цилл} \cdot p_n \geq F_{тр} + \frac{S_{цилл}^3 (\dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2)^2 \rho}{2 \cdot f_{ш}^2} \cdot \left(0,5 + \frac{f_{ш}}{F_{B3}} \right), \quad (14)$$

2) При $0 < f_{ш} < f_{ш} -$ система не рухається і $F_2 = 0$.

3) Коефіцієнти жорсткості c_4 та демпфування буферу b_4 використовуються в розрахунках тільки в період удару.

4) Якщо $x_1 - x_2 \geq 0$, то $b_4 = 0$, $c_4 = 0$ – кінець робочого ходу і початок удару – відповідають нульовому зазору у буфері, Кінець удару і початок зворотного ходу починаються при рівності сил пружності і опору у буферах.

5) В кінці зворотного ходу та на початку робочого ходу відбувається зміна знаку швидкості: $V_{i-1} > 0$; $V_i = 0$; $V_{i+1} < 0$.

З метою оптимізації гідро привідного механізму трамбівки, було визначено теоретично режим зворотно – поступального руху ударника, який зводить до мінімуму динамічні навантаження, що передаються на раму базової машини. Виходячи з отриманих рівнянь, було визначено площі та конфігурацію впускних вікон розподільника.

Результати досліджень вібротрамбівки з гідроприводом були використані при розробці методики інженерного розрахунку, причому, як для причіпного, так і навісного варіантів. Оскільки машина може працювати в режимі вібрування, вібротрамбування, віброудару, а також передбачає можливість регулювання коливань в широкому діапазоні частот за рахунок гідроприводу, тому і виникає необхідність перегляду методики розрахунку коливальних мас, пружних елементів та складальних вузлів гідророзподільника. Тримасна конструкція трамбівки та гідропривід, які теоретично значно підвищують та розширюють можливості машини

, як з точки зору зручності , продуктивності , так і універсальності , вносять складність у визначення параметрів , а також створюють необхідність використання при розрахунках методики , яка хоч і спирається на відомі матеріали , але повинна містити новий підхід . Виконані на цій основі аналітичні та експериментальні дослідження динаміки руху трамбівки дозволили розробити принципи розрахунку та створення машин подібного класу . Нижче наведемо методику інженерного розрахунку визначення основних параметрів вібраційних машин із гідроприводом у вигляді таблиці 1.1 .

Таблиця 1.1. Алгоритм розрахунку гідравлічних трамбівки
Table 1.1. Algorithm for calculating hydraulic rammers

№ п/п	Розрахунок параметрів навісних трамбівки	Розрахунок параметрів причіпних трамбівки
1	2	3
1	Маса трамбівки : $M_{тр} = M_{доп}$	Час пуску штока із ударною масою : $T_{п} = \frac{\pi}{2\omega} - \frac{0,06 \cdot F \cdot H \cdot \Delta p_{max}}{Q_H}$
2	Маса ударника : $m_{уд} = \frac{M_{тр}}{(3,5...4)} = \frac{M_{тр}}{3,5}$	Швидкість перед ударом : $v_{сер} = \frac{\chi_{сер}}{t_{п}}; v_{max} = 2 \cdot v_{сер}$
3	Маса ущільнюючої плити : $m_{пл} = m_{уд} \cdot (1...1,2) = m_{уд}$	Розрахункова площа гідроциліндра : $S_{цил} = \frac{Q_H}{v_{max}}$
4	Швидкість перед ударом : $v_{max} = \frac{2 \cdot p_{сер} \cdot Q_{сер} \cdot \eta_{пл}}{m_{уд} \cdot f}$	Маса ударника : $m_{уд} = \frac{2 \cdot p_{сер} \cdot Q_{сер} \cdot \eta_{пл}}{m_{уд} \cdot f}$
5	Розрахункова площа гідро циліндра : $S_{цил} = \frac{Q_{ном}}{v_{max}}$	Маса ущільнюючої плити : $m_{пл} = m_{уд} \cdot (1...1,2) = m_{уд}$
6	Швидкість ущільнюючої плити після удару : $v_{н} = \frac{m_{пл} \cdot (1 + K_{\epsilon})}{m_{пл} + m_{уд}} \cdot v_{max}$	
7	Площа ущільнюючої плити : $F_{пл} = \frac{v_{н}}{[\sigma_0]} \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot E \cdot B_{min} \cdot m_{уд}}{1 - \mu^2}}$	
8	Амплітуда коливань ударника : $\chi_{уд} = \frac{v_{max}}{2} \cdot t_n$	Маса трамбівки : $Q_{mp} \geq [pcm] \cdot F_{пл}, M_{mp} = \frac{Q_{mp}}{g}$

Продовження табл. 1.1

Continuation of the table. 1.1

1	2	3
9	Верхня маса трамбівки : $m_2 = M_{mp} - m_{уд} - m_{пл}$	

10	Жорсткість пружних елементів ударника : $c_1 = \frac{2 \cdot p_n \cdot S_{цил}}{\chi_{\max}}$
11	Жорсткість пружних елементів ущільнюючої плити : $c_2 = \frac{m_{yd} \cdot m_2}{m_{yd} + m_2} \cdot \omega_{\max}^2$
12	Жорсткість буфера ударника : $c_4 = 10 \cdot c_1$
13	Виконують розрахунки на міцність вузлів та деталей ущільнюючого обладнання
14	Амплітуда коливань ущільнюючої плити у контакті із будівельною сумішшю : $\chi_{2\max} = \frac{v_n}{\sqrt{\frac{E_{np} \cdot B_{\min}}{m_{пл}} \cdot \alpha}}$
15	Глибина активної зони : $H = 1,2 \cdot B_{\min} \frac{W}{W_0} \left[1 - e^{-3,7 \frac{i}{i_p}} \right]$
16	Час ущільнення на одному місці : $t = \frac{c}{k \cdot n}$

Розрахунок основних параметрів ротаційного розподільника рекомендується виконувати у наступному порядку :

1 . Внутрішній діаметр нагнітаючих та зливних трубопроводів $d_{мрн}$ та $d_{мрз}$, мм :

$$d_{mp} \geq 4,6 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{v_m}} \quad (15)$$

де v_m – допустима рекомендована швидкість перетікання робочої рідини по трубопроводу , м / с ;
 Q_H – номінальна подача , л / хвл .

2 . Мінімально допустима товщина стінок трубопроводів, мм :

$$j = \frac{p_H \cdot d_{mp}}{2 \cdot \sigma_{ep}} \cdot K_b, \quad (16)$$

де σ_{ep} – межа міцності на розтягування матеріалу трубопроводу; K_b – коефіцієнт безпеки (≥ 6 при пульсаціях піках) .

3 . Знаходять площі вікон корпусу гідророзподільника :

$$d = 4.6 \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{v_m}}, \quad (17)$$

де $v_{зл.гидр} = 4$ м / с – допустима швидкість у зливній порожнині ; $v_{наг.гидр} = 8$ м / с – допустима швидкість у нагнітаючій порожнині гідророзподільника .

4 . Мінімальний діаметр золотника для зменшення габаритів, м :

$$D_3 \geq \frac{B_{\max}}{2 \cdot \sin 22,5^\circ}, \quad (18)$$

де B_{\max} – максимальний розмір вікна корпусу у напрямку обертання золотника (якщо отвір круглий, то зливний діаметр вікна корпусу гідророзподільника).

5 . Ширина смуги перекривання золотника, м:

$$K = B_{\max} + 0,004, \quad (19)$$

6 . Довжина смуги перекривання золотника, м:

$$L = D_3, \quad (20)$$

7 . Сила навантаження на опорні підшипники золотника, Н:

$$P_3 = D_3 \cdot L \cdot p_{\max}, \quad (21)$$

8 . Кут перекриття золотника, рад:

$$\phi = \frac{2 \cdot K}{D_3}. \quad (22)$$

9 . Кутова швидкість золотника, c^{-1} :

$$\omega_3 = \frac{1}{2} \cdot \omega, c^{-1}. \quad (23)$$

10 . Зовнішній діаметр корпусу гідророзподільника [19], м :

$$R = \frac{D_3}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{ep} + 0,4 p_y}{\sigma_{ep} - 1,3 p_y}}, \quad (24)$$

де p_y – умовний тиск рідини, який перевищує робочий тиск на $\approx 25\%$.

11 . Товщина корпусу гідророзподільника, м :

$$S_{\text{корп}} = R - \frac{D_3}{2}, \quad (25)$$

12 . Оптимальний діаметральний зазор між золотниками і корпусом для виключення заклинювання [29], мкм:

$$\delta = 0,4 \cdot D_3 + 20, \quad (26)$$

де $[D_3] = \text{мм}$.

13 . Оптимальна довжина перекриття до ущільнюючого кільця [29] :

$$l_{\text{опт}} = 1970 \cdot \frac{(0,4 \cdot D_3 + 20)^2}{v \cdot D_3 \cdot n} \cdot p, \quad (27)$$

де v – в'язкість робочої рідини, $\text{мм}^2/\text{с}$ ($10 \dots 11 \text{ мм}^2/\text{с}$); n – частота обертання, $\text{об}/\text{хвл}$.

14 . Оптимальне витікання гідравлічної рідини, $\text{л}/\text{хвл}$:

$$Q_{\text{вит}} = 0,56 \cdot 10^{-8} \cdot D_3^2 \cdot (0,4 \cdot D_3 + 20) \cdot n. \quad (28)$$

15 . Мінімальні втрати потужності, кВт:

$$N_{\text{ном}} = 1864 \cdot 10^{-10} \cdot D_3^2 \cdot (0,4 \cdot D_3 + 20) \cdot n \cdot p, \quad (29)$$

де p – тиск зажиму, Мпа.

По приведеній вище методиці визначаються основні конструктивні параметри, а також попередні значення технологічних параметрів ущільнення.

6. Висновки:

1. На основі представлення ґрунту як пружно-пластичне середовище визначені основні параметри зміни властивостей середовища, що знаходиться в напружено-деформованому стані.
2. Визначені основні параметри взаємодії вібротрамбовки із ущільнюючим ґрунтом та встановлені аналітичні залежності для оцінки розповсюдження хвиль в середовищі.

Список використаних джерел

1. Чубук Ю.Ф., Назаренко І.І., Гарнец В.Н. (1985) Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Выща шк.- 168 с.
2. Назаренко І.І. (1988) Высокоэффективные виброформовочные машины. К.: Высш. шк. - 143 с.
3. Сивко В.И. (1987) Основы механики вибрируемой бетонной смеси. К.: Виша шк.- 168 с.
4. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. (2-е видання). К.: Видавничий Дім «Слово». - 440 с.

УДК 667.1

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0203>**Іван Назаренко,**

доктор технічних наук,
завідувач кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>
E-mail: nazarenko.ii@knuba.edu.ua

Олег Дєдов,

доктор технічних наук,
доцент кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>
E-mail: dedov.op@knuba.edu.ua

Олександр Дьяченко,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8199-2504>
E-mail: diachenko.os@knuba.edu.ua

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ НАВІСНИХ ЗБУДНИКІВ КОЛИВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ І ДОЦІЛЬНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ НА ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

АНОТАЦІЯ. Зведення будівель за збірною технологією використовується дедалі частіше в Україні. Паралельно з цим розширюється перелік готових залізобетонних виробів, які використовуються в монолітно-каркасній і монолітно-збірній технологіях. Через це постає необхідність збільшувати кількість ліній для виробництва готових залізобетонних виробів та використовувати обладнання, яке дозволить швидко переналагоджувати процес виробництва у залежності від зміни типу і розміру кінцевої продукції. При цьому найбільш відповідальним процесом є ущільнення і формування бетонної суміші з використанням об'ємної технології ущільнення на вібраційних установках блочної або рамної конструкції. Такі установки розраховані на ущільнення бетонних сумішей у стандартизованих за розмірами формах і які не в повній мірі відповідають вимогам універсальності при зміні програми виробництва, забезпеченню високої якості готових виробів та характеризуються суттєвими витратами енергії. Одним із напрямків вирішення наведених недоліків є створення вібраційної установки з навісними збудниками коливань і змінним режимом роботи. Така ідея забезпечується використанням віброустановки в якій рама з привареною поверх пластиною безпосередньо і є піддоном на якому відбувається процес ущільнення. Розміри майбутнього виробу обмежуються встановленням на піддон бортів і перегородок, які закріплюються за допомогою магнітних кріплень, завдяки чому можна легко перелаштувати установку під інші типорозміри панелей. Використання навісних збудників коливань, які розташовані рівномірно по площі формують формуючої плити має на меті покращити розподіл амплітуд у об'ємі бетонної суміші, підвищити якість і зменшити час на ущільнення виробу. В роботі здійснено огляд існуючих конструкцій навісних збудників коливань, виконано аналіз їх недоліків і переваг, а також технічних параметрів. За отриманими результатами визначено, що планетарні пневматичні вібратори мають переваги у величині змушуючої сили, яку здатні генерувати на одиницю власної маси у порівнянні з електричними і гідравлічними відцентровими аналогами. Пневмопланетарні віброзбудники прості за конструкцією, надійні і дозволяють регулювати частоту коливань в деяких межах без застосування додаткових пристроїв.

Ключові слова: збудник коливань, вібромайданчик, навісне вібраційне обладнання, змушуюча сила, дебаланс, ущільнення.

OVERVIEW OF THE DESIGNS OF HINGED VIBRATION EXCITERS AND RESEARCH OF THEIR PARAMETERS AND THE FEASIBILITY OF THEIR USE ON VIBRATION PLATFORMS TO IMPROVE THE COMPACTING OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

ABSTRACT: Construction of buildings using prefabricated technology is increasingly used in Ukraine. In parallel with this, the list of ready-made reinforced concrete products, which are used in monolithic-frame and monolithic-prefabricated technologies, is expanding. Because of this, it becomes necessary to increase the number of lines for the production of ready-made reinforced concrete products and to use equipment that will allow to quickly adjust the production process depending on the change in the type and size of the final products. At the same time, the most responsible process is the compaction and formation of the concrete mixture using volumetric compaction technology on vibrating platforms of block or frame construction. Such installations are designed for the compaction of concrete mixtures in forms standardized by size and which do not fully meet the requirements of universality when changing the production program, ensuring high quality of finished products, and are characterized by significant energy consumption. One of the directions for solving the mentioned shortcomings is the creation of a vibration installation with attached vibration exciters and a variable mode of operation. Such an idea is ensured by the use of a vibrating installation in which the frame with a plate welded on top is directly the pallet on which the compaction process takes place. The dimensions of the future product are limited by the installation of sides and partitions on the pallet, which are fixed using magnetic fasteners, thanks to which it is possible to easily rearrange the installation for other standard sizes of panels. The use of attached vibration exciters, which are evenly spaced over the area of the forming plate, aims to improve the distribution of amplitudes in the volume of the concrete mixture, improve quality and reduce the time for compaction of the product. The work includes an overview of the existing designs of mounted vibration exciters, an analysis of their disadvantages and advantages, as well as technical parameters. According to the obtained results, it was determined that planetary pneumatic vibrators have advantages in the amount of disturbing force that they are able to generate per unit of their own mass, higher indicators of dynamism criteria compared to electric and hydraulic centrifugal analogues. Pneumoplanetary vibration exciters are simple in design, reliable and allow adjusting the frequency of oscillations within certain limits without the use of additional devices.

Keywords: vibration exciter, vibration platform, attached vibration equipment, disturbing force, imbalance, compaction.

1. Постановка проблеми. Виробництво плоских збірних залізобетонних виробів і конструкцій на заводах будіндустрії все ще займає велику долю в галузі будівництва, що пояснюється високими показниками по термінам виготовлення і якості продукції[1]. Найбільш відповідальним процесом при їх виробництві є процес ущільнення бетонних сумішей, при якому відбувається найбільш рівномірне розподілення суміші по площі форми майбутнього виробу, витіснення повітря і зайвої рідини з суміші[5]. Саме від процесу ущільнення у більшій мірі залежить надання потрібної конфігурації і необхідної щільності суміші, що в готовому виробі має позначитись на міцності, водонепроникності, морозостійкості і забезпечити належну якість поверхонь.

При ущільненні бетонної суміші використовуються вібраційні установки, до яких висуваються високі вимоги по параметрам і конструкції. Однак не завжди дані машини задовольняють вимогам по ефективності і енергоємності процесу ущільнення, надійності конструкції[2] і не забезпечують можливість швидкого переналадження їх для формування виробів різних за формою і наповненням.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій: Дослідженню процесу формування і ущільнення бетонних і залізобетонних сумішей, а також видів обладнання і способів приведення його в дію присвячена низка робіт[1,2,5-6]. У роботах [6,7] наведено огляд основних способів ущільнення і формування бетонних сумішей. Конструкціям вібраційних збудників коливань присвячено роботи [1-3,5]. Аналізу та оцінці характеристик і параметрів вібраційних установок присвячено роботу [5]. Дослідженню надійності вузлів вібраційних установок присвячені роботи [3,4]. В роботі [6] присутні рекомендації щодо оптимальних параметрів ущільнення, та

використання при цьому навісних вібраційних збудників коливань з різними конструкціями і параметрами.

3. Мета роботи. Робота має на меті оглянути конструкції і приводи навісних вібраційних збудників коливань, які наявні на ринку, дослідити і порівняти їх характеристики і параметри за критеріями відношення змушуючої сили до маси та критерієм статичних мас неврахованих частин. А також дослідити можливість встановлення навісних збудників коливань на вібраційну установку для формування і ущільнення бетонних сумішей задля зниження енергоємності процесу, збільшення простоти конструкції та надійності і гнучкості підлаштування її параметрів під різні вироби як за формою так і за наповненням.

4. Матеріали та методи. З точки зору ефективності і надійності конструкції серед можливих варіантів конструкцій вібраційної установки з просторовими коливаннями було обрано одномасову рамну конструкцію з навісними віброзбудниками коливань [8]. Схему даної установки представлено на рис.1.

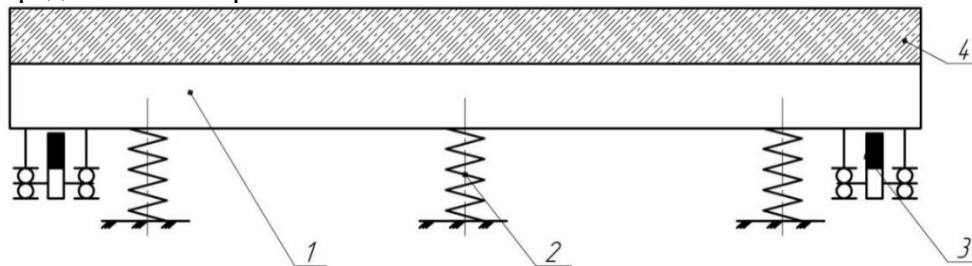


Рис.1. Схема вібраційної установки з навісними збудниками коливань
Fig. 1. Scheme of a vibration installation with attached vibration exciters

Вона складається з рами 1, яку встановлено на пружних опорах 2. Установка приводиться у дію навісними збудниками коливань 3, які встановлено несиметрично на рамі установки. Рама установки безпосередньо і є піддоном(формою), на якому виконують ущільнення бетонних сумішей 4. Конструкція установки для об'ємного ущільнення з навісними віброзбудниками коливань має на меті покращити розподілення амплітуд коливань по периметру поверхні форми і, як наслідок, покращити ефективність і якість ущільнення, а також підвищити надійність конструкції.

Навісні віброзбудники коливань, їх конструкції, методи приведення у дію і технічні параметри сильно різняться. У роботі виконано структурний аналіз конструкцій віброзбудників коливань, а також методи приведення їх у дію, результатом чого були виокремлені їх недоліки і переваги. Оцінка параметрів була виконана методом абстрагування у результаті чого були виділені найбільш суттєві технічні параметри і конструктивні особливості навісних віброзбудників коливань. З технічних параметрів для порівняння обрані частота коливань і змушуюча сила, яку генерує віброзбудник, і його маса. З конструктивних особливостей такі віброзбудники мають відповідати умовам їх навішування на раму віброустановки. Для порівняння віброзбудників різних типів і конструкцій використано критеріальний аналіз.

5. Результати. Не зважаючи на широке поширення монолітно-каркасного способу зведення будівель у наш час, виробництво збірних залізобетонних конструкцій і деталей все ще займає велику частку будівництва. Пояснюється це тим, що ключові технологічні процеси виконуються на заводі. Це дозволяє досягти високих показників по термінам виготовлення і якості продукції [3].

Для ущільнення бетонних сумішей зазвичай використовується вібраційний метод, який полягає у тому, що при коливаннях бетонна суміш отримує властивості текучості внаслідок порушення зв'язків між частинками (явище тиксотропії), і вони під дією сил ваги прагнуть зайняти більш стійке положення, при цьому повітря витискується і суміш ущільнюється [5].

Вібраційний метод ущільнення є основним при виготовленні збірних бетонних і залізобетонних виробів через високу ефективність, і являє одну з найбільш відповідальних операцій. Тому до вібраційних машин, які використовують для ущільнення бетонних сумішей

пред'являють високі вимоги такі як простота конструкції і, як результат, висока ремонтпридатність і надійність, низька енергоємність і металоємність, а також забезпечення високої ефективності ущільнення[4].

Зазвичай на вібраційних установках використовуються стаціонарні вібраційні збудники синусоїдальних коливань з частотою коливань 25, 50 Гц, рідше 100 Гц і вище[1].

За принципом дії існуючі навісні віброзбудники коливань ділять на три групи[1-3]:

1. Електромагнітні(електромеханічні) віброзбудники коливань, в яких електрична енергія перетворюється в енергію механічних коливань;
2. Пневмо- та гідромеханічні віброзбудники коливань, в яких енергія газоподібного або рідкого робочого тіла перетворюється в енергію механічних коливань;
3. Інерційні віброзбудники коливань.

До електромагнітних (рис.2) належать віброзбудники коливань, в яких змушуюча сила створюється магнітним полем, яке виникає коли через обмотку електромагніту 1 пропускається змінний або пульсуючий струм, який спричиняє періодичне намагнічування осердя, внаслідок чого виникають періодичні сили притягання якоря 2 до осердя. Зворотній рух осердя відбувається під дією відновлювальної сили пружин 3.

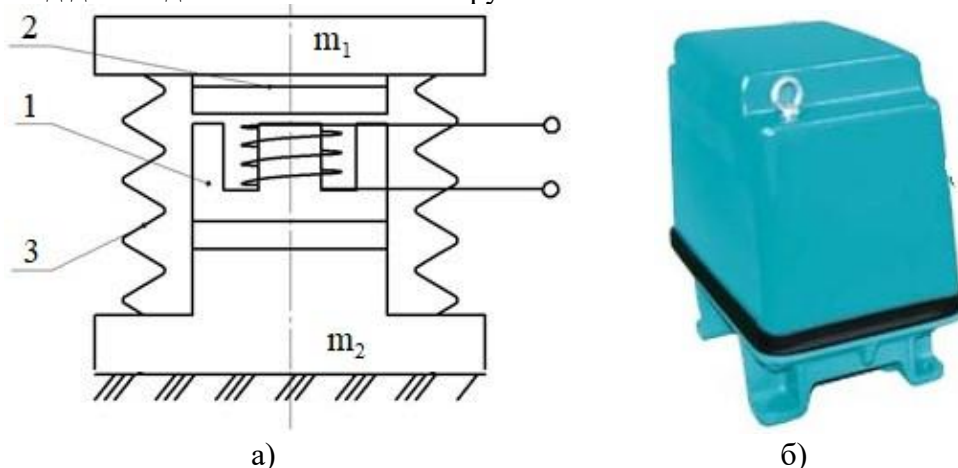


Рис.2. Електромагнітний віброзбудник коливань:
а – схема, б – загальний вигляд

Fig.2. Electromagnetic vibration exciter of oscillations:
a - scheme, b - general view

До плюсів таких віброзбудників можна віднести можливість зміни амплітуди без зміни частоти коливань, відсутність елементів тертя, створення напрямлених коливань.

До мінусів можна віднести неможливість регулювання частоти коливань, великі габарити і масу, а також високу ціну обладнання. Вантажопідйомність електромагнітних вібраторів зазвичай не перевищує 2 тон. Саме тому не отримали значного розповсюдження в будівельній галузі.

Більшого розповсюдження отримали пневмо- та гідромеханічні збудники коливань. До них належать віброзбудники коливань, в яких змушуюча сила створюється внаслідок зворотно-поступального руху поршня або іншого елемента під дією стиснутого повітря або напору рідини.

В загальному випадку конструкція таких збудників коливань (рис.3) складається з циліндра 1, в середині якого переміщується поршень-золотник 8. Стиснуте повітря(рідина) подається через вхідний отвір 3, кільцевій проточці поршня і каналу 4 в простір з правого боку поршня. Під тиском повітря(рідини) поршень переміщується ліворуч, стискаючи пружину 9. Наприкінці руху поршня вліво відкриваються канали 6 і 2, канали 7 та 4 перекриваються, поршень починає рухатись у зворотному напрямку, після чого цикл повторюється.

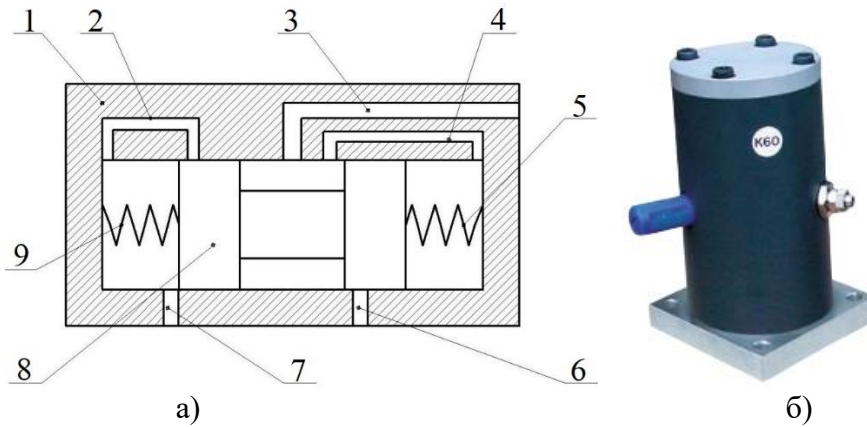


Рис.3. Пневматичний віброзбудник коливань
а – схема, б – загальний вигляд

Fig. 3. Pneumatic vibration exciter
a - scheme, b - general view

До плюсів можна віднести простоту конструкції, можливість регулювання частоти коливань, створення напрямлених коливань.

Серед мінусів найбільш явними є невисока частота коливань, велика вага.

Інерційні віброзбудники коливань можна розділити на дві групи: відцентрові, які розвивають інерційні сили за рахунок обертання неврівноважених масивних елементів, і інші, у яких інерційні сили розвиваються від не обертового руху неврівноважених масивних елементів.

Найбільшого розповсюдження на установках для формування і ущільнення бетонних сумішей набули відцентрові віброзбудники коливань. Відцентрові віброзбудники поділяються на дебалансні і планетарні. За типом приводу розрізняють вібратори з електричним, пневматичним і гідравлічним приводами.

Дебалансний віброзбудник (рис.4,а) складається із дебалансу 1, що закріплений на валу 2, який обертається в підшипниках закріплених в корпусі 3. При обертанні дебалансу з кутовою швидкістю ω виникає відцентрова (змушуюча) сила F_0 .

До дебалансних віброзбудників також відносяться пневматичні турбінні вібратори (рис.4,б). Складається із корпусу 1, в якому встановлено турбіну 3, яка неврівноважена пустотами 4 і вставками з важких матеріалів 5. При подачі стиснутого повітря через впускний отвір 2 турбіна починає обертатись, виникає змушуюча сила. Відпрацьоване повітря виходить через отвір 6.

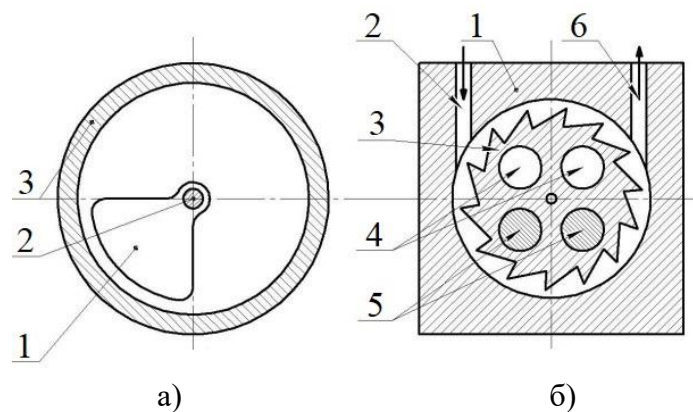


Рис.4. Конструкції відцентрових дебалансних віброзбудників коливань
а) типовий дебалансний віброзбудник, б) пневматичний турбінний віброзбудник
Fig.4. Designs of centrifugal unbalanced vibration exciter
a) typical unbalanced vibrator, b) pneumatic turbine vibrator

Недоліком віброзбудників коливань такого типу є те, що частота обертання дебалансного валу обмежена несучою здатністю опорних підшипників. Оскільки корпус підшипників погано чинить опір великим відцентровим силам.

Цей недолік був подоланий при створенні відцентрових планетарних віброзбудників коливань, оскільки неврівноважена маса частково спирається на корпус вібратора, або вібратор зовсім не має підшипників.

Планетарний віброзбудник складається з бігунка, який, обкочуючись по біговій доріжці, передає на неї відцентрову (змушуючу) силу.

За типом підтримки обкатки планетарні віброзбудники можна розділити на чотири види: повідково-планетарні, фрикційно-планетарні і зубчато-планетарні, пневмопланетарні. По тому, якою своєю боковою поверхнею бігунок обкочується по біговій доріжці – зовнішній чи внутрішній, планетарні віброзбудники поділяють на збудники з зовнішньою і з внутрішньою обкаткою.

Схему конструкції повідково-планетарного віброзбудника з зовнішньою обкаткою показано на рис.5. Тут бігунок 1 обкочується по біговій доріжці у корпусі 2 за допомогою повідка 3, якому обертання передається валом 4. Кутова швидкість обкочування дорівнює кутовій швидкості обертання повідка.

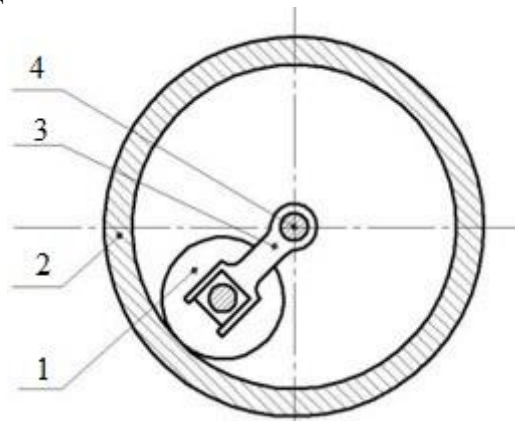


Рис.5. Конструкція повідково-планетарного віброзбудника коливань

Fig.5. The design of the belt-planetary vibration exciter of oscillations

Фрикційно-планетарний віброзбудник з зовнішньою обкаткою (рис.5, а) складається з бігунка 1, обертання якого підтримується передачею через вал 2. Бігунок своєю зовнішньою поверхнею обкочується по біговій доріжці корпуса 3. У випадку внутрішньої обкатки (рис.6,б) бігунок 1 внутрішньою циліндричною поверхнею обкочується по біговій доріжці, яка утворюється боковою поверхнею пальця 2, який встановлено в корпусі 3. Обертання бігунка підтримується обертанням пальця 2 від електродвигуна. Обкатка в обох випадках підтримується силами сухого тертя між бігунком і біговою доріжкою, які виникають під дією відцентрової сили.

Зубчато-планетарні віброзбудники коливань відрізняються від фрикційно-планетарних тим, що поза бігових доріжок мається зубчасте зачеплення бігунка з корпусом, яке підтримує обкочування.

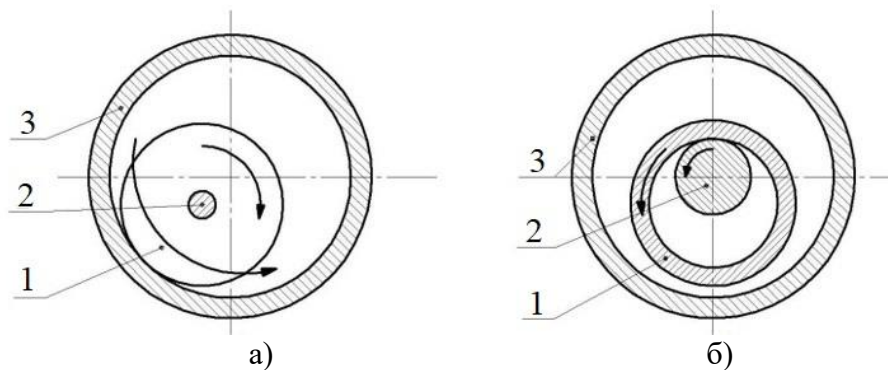


Рис.6. Конструкції фрикційно-планетарних віброзбудників коливань
 а – з зовнішньою обкаткою, б – з внутрішньою обкаткою
 Fig. 6. Designs of friction-planetary vibration exciter
 a – with external running-in, b – with internal running-in

З пневмопланетарних віброзбудників отримали найбільше поширення кулькові, роликові, турбінні і ротаційні з висувною пластиною, а також-роликово-лопатевої.

Кулькові (рис.7, а) віброзбудники працюють наступним чином: в робочу порожнину корпусу 1 через вхідний отвір 2 подається стиснуте повітря, струмінь якого підтримує обкочування кульки 3 по біговій доріжці 4. Відпрацьоване повітря виходить через вихідний отвір 5. Здійснюється зовнішнє обкочування. Таким же чином працюють роликові віброзбудники, однак замість кульки повітря діє на ролик або циліндр.

Турбовібратор (рис.7, б) являє собою циліндричний корпус 1 закритий з обох сторін, всередині якого обертається циліндр 2 з пластиною 3, що ковзає в циліндрі в радіальному напрямку. Пластина розділяє порожнину корпусу на дві частини, в одну з порожнин надходить стиснене повітря через отвір 3. Інша порожнина з'єднана з зовнішнім середовищем випускними каналами 5. Стиснене повітря викликає обертання внутрішнього циліндра по внутрішній поверхні корпусу.

Ротаційний віброзбудник типу «Вебер» (рис.7, в) складається з корпусу 1, в стінках якого жорстко закріплено вісь 2, яка має порожнину для надходження повітря, в яку встановлену текстолітову пластину 4. В центральний отвір вісі 5 подається стиснуте повітря, яке по каналу поступає в порожнину між віссю і бігунком (циліндром) 3 зліва від текстолітової пластини. Тиск повітря підтримує обкочування бігунка по поверхні вісі. Здійснюється внутрішнє обкочування. Торці бігунка ковзають по стінкам корпусу. Відпрацьоване повітря виходить через отвір 6 в стінці. Безперервне притискання пластини до внутрішньої поверхні бігунка, що обкочується, забезпечується тиском повітря в отворі вісі. Також існує різновид ротаційного віброзбудника, який має два бігунки (циліндри) 3 і 4 (рис.7, г). При перекошуванні бігунка 3, під дією відцентрової сили, бігунки 4 також починає перекошуватись відносно бігунка 3. Такі віброзбудники генерують більшу змушуючу силу ніж в ротаційних віброзбудниках з одним бігунком.

Також існує роликово-лопатевої вібратор (рис.7, д). Складається з корпусу 1, в якому знаходиться ролик 3 з лопатями 4. Повітря через отвір 5 подається в порожнину 6 між корпусом 1 і залізною направляючою 2, далі через отвори 7 подається до камери між роликом 3, лопатями 4. Тиск повітря змушує ролик планетарно обертатися в корпусі. Випуск повітря здійснюється через випускні отвори на кінцях лопаток, і спрацьовують в нижньому положенні.

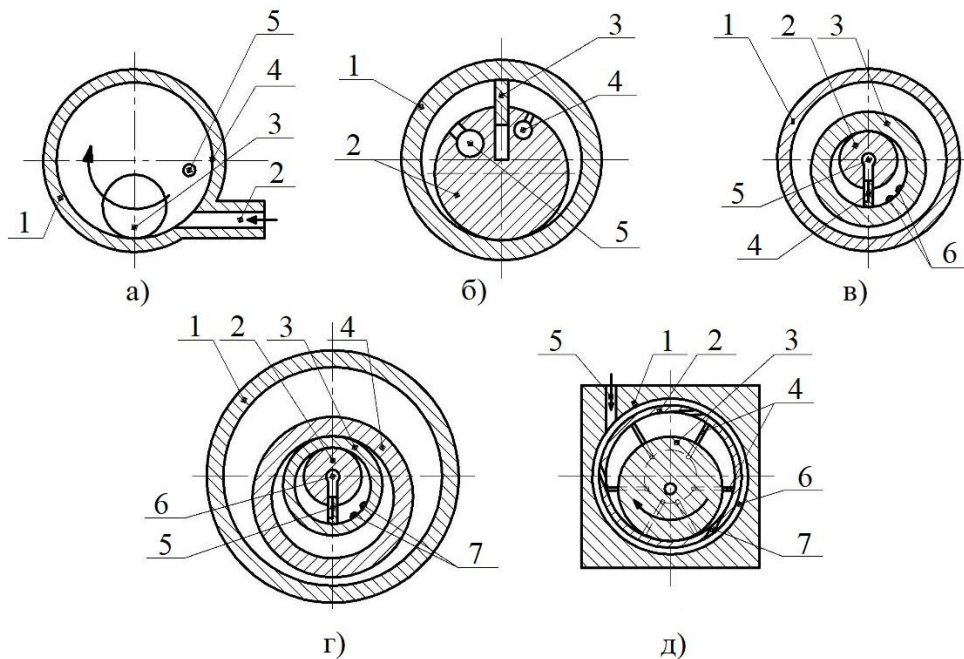



Рис. 7. Конструкції пневмопланетарних віброзбудників коливань
 а – кульковий; б – турбовібратор; в – ротаційний віброзбудник типу «Вебер»; г – ротаційний віброзбудник з двома бігунками; д – роликів-лопатевий вібратор

Fig. 7. Designs of pneumoplanetary vibration exciter
 a – spherical; b – turbovibrator; c – rotary vibration exciter of the "Weber" type; d – rotary vibrator with two sliders; d – roller-blade vibrator

Було здійснено аналіз існуючого вібраційного навісного обладнання з різним конструкційним виконанням, що пропонується на ринку. В результаті проведених досліджень та виконаного аналізу були визначені найбільш прийнятні аналоги вібраційних збудників коливань, які пропонуються для приведення в дію вібраційної установки (табл. 1).

Таблиця 1. Технічні і технологічні параметри вібраційних збудників коливань
 Table 1. Technical and technological parameters of vibration exciters

Назва	Тип приводу	Зовнішній вигляд	Частота, об/хв.	Змушуюча сила, Н	Маса, кг
Kemp Vibration HSV - 24	Пневматичний		10800	62230	19.5
Bianchi VP-6000	Пневматичний		11000	60000	17.5
Brecon 18 600 001	Пневматичний		11000	60000	18

Navco UV L62Y	Електричний		3600	63000	180
Nettervibration NEG 506220	Електричний		6000	62970	181
ИБ-60-50	Електричний		3000	60000	219
Nettervibration NHG 6000L	Гідравлічний		3000	61206	96
Nettervibration CCV-6-25-8HA	Гідравлічний		3900	49210	40.4
Martin-eng HSV18-8300	Гідравлічний		1800	37000	83

Для оцінки характеристик навісних віброзбудників коливань були використані наступні критерії оцінки:

$$K_1 = m_0 r_0 = F / \omega^2, \tag{1}$$

$$K_2 = F / m. \tag{2}$$

де F – змушуюча сила вібратора, Н; ω – частота коливань вібратора, c^{-1} ; m – маса вібратора, кг.

На основі числових значень (див.табл.1) за критеріями (1-2) були здійснені розрахунки, результати яких приведені у табл.2.

Таблиця 2. Критерії оцінки параметрів вібраційних збудників коливань
Table 2. Criteria for evaluating the parameters of vibration exciters of oscillations

№	Назва	K_1	K_2
1	Kemp Vibration HSV - 24	0.049	3191
2	Bianchi VP-6000	0.045	3428
3	Brecon 18 600 001	0.045	3333
4	Navco UV L62Y	0.443	350
5	Nettervibration NEG 506220	0.159	347
6	ИБ-60-50	0.608	273
7	Nettervibration NHG 6000L	0.62	637
8	Nettervibration CCV-6-25-8HA	0.295	1218
9	Martin -eng HSV18-8300	1.04	445

За результатами даних, що наведені у таблиці 2 побудовані гістограми статичних мас невірноважених частин (рис.8), відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань (рис.9).

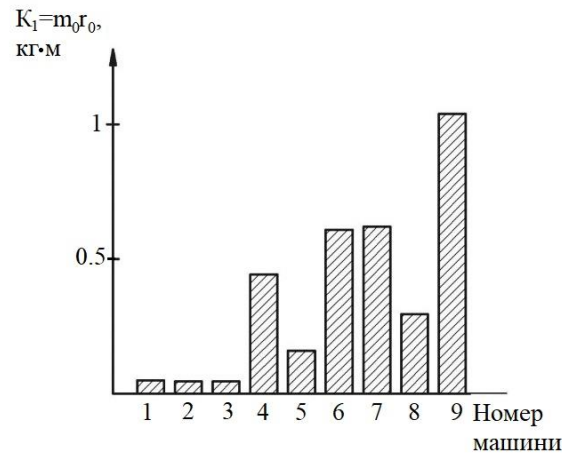


Рис.8. Критерій статичних мас невірноважених частин

Fig. 8. Criterion of static masses of unbalanced parts

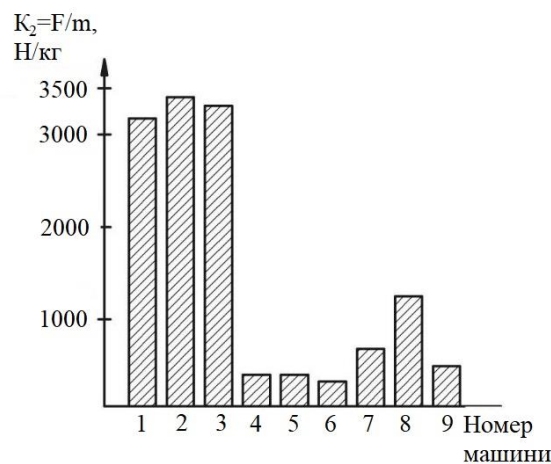


Рис.9. Критерій відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань

Fig. 9. Criterion of the ratio of the generated driving force to the mass of the oscillator

6. Висновки. Виконані дослідження дозволили виявити основні конструкції навісних збудників коливань, види приведення їх в дію, а також оцінити їх недоліки і переваги. При порівнянні характеристик вібраторів, що представлені на ринку, приведених в табл.1, виявилося що пневматичні планетарні вібратори мають найменший критерій мас невірноважених частин (рис.5), що впливає на ресурс вібратора, переваги в відношеннях змушуючої сили, що генерується на одиницю маси (рис.6) в порівнянні з електричними і гідравлічними відцентровими аналогами. За визначеними в результаті оцінки і аналізу параметрами вібраторів було засвідчено, що їх використання на вібромайданчиках має сенс для покращення загальних характеристик, а також усунення недоліків, таких як недостатньо рівномірний розподіл амплітуд коливань по площі вібромайданчика, полегшення і спрощення конструкції його рами.

Було засвідчено що найбільш прийнятними за характеристиками виявилися пневмопланетарні відцентрові збудники коливань, оскільки вони мають найменший критерій мас невірноважених частин, а також найкращі відношення критерію K_2 .

Також серед переваг пневматичних вібраторів варто відмітити простоту конструкції, надійність, можливість регулювання обертів в деяких межах, без застосування додаткових пристроїв і малу масу.

Перспективи подальшого використання височастотних пневмопланетарних відцентрових навісних збудників коливань на вібраційних установках буде досліджено в майбутньому експериментальним шляхом на лабораторній установці.

Список використаних джерел:

1. *Борейко В.І., Прутула М.Ю.* (2011) Перспективи виробництва будівельних матеріалів в Україні. Збірник наукових праць. Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції. Вип. XVII, № 4. С. 64-71.
2. *Delembovskyi M.M., Diachenko O.S.* (2021) Methods for determining the reliability indicators of vibration sites. *Грааль науки*. №2-3. P. 263–270.
3. *Pințoi R., Barbu A.M., Ionescu A.* (2020) Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*. Vol.896, P.355-360.
4. *Делембовський М.М.* (2021) Вплив режимів експлуатації і властивостей елементів вібромашин будівельної індустрії на процеси надійності. *Грааль науки*. №4. С.209-214.
5. *Назаренко І.І.* (2010) Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник / І.І. Назаренко // К.: Видавничий дім «Слово». – 440 с.
6. *Повідайло В. О.* (2004) Вібраційні процеси та обладнання: Навчальний посібник /В.О. Повідайло // Львів.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». — 248 с.
7. *Nesterenko, M., Nazarenko, I., Molchanov, P.* (2018) Cassette Installation with Active Working Body in the Separating Partition. *International Journal of Engineering & Technology*. 7 (3.2), P.265.
8. *Назаренко І.І., Дедов О.П., Дьяченко О.С., Свідерський А.Т.* (2017) Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских залізобетонних виробів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №90. С. 49–58.

References:

1. Boreyko V.I., Prytula M.Yu. (2011) Perspektyvy vyrobnytstva budivelnykh materialiv v Ukraini. Zbirnyk naukovykh prats. Problemy ratsionalnoho vykorystannia sotsialno-ekonomichnoho ta pryrodno-resursnoho potentsialu rehionu: finansova polityka ta investytsii. [Prospects for the production of construction materials in Ukraine. Collection of scientific works. Problems of rational use of socio-economic and natural resource potential of the region: financial policy and investments]. Vol. XVII, № 4. P. 64-71.
2. Delembovskyi M.M., Diachenko O.S. (2021) Methods for determining the reliability indicators of vibration sites. *Грааль науки*, №2-3. P. 263–270.
3. Pințoi R., Barbu A.M., Ionescu A. (2020) Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.896, P.355-360.
4. Delembovskyi M.M. (2021) Vplyv rezhymiv ekspluatatsii i vlastyvostei elementiv vibromashyn budivelnoi industrii na protsesy nadiinosti. [The influence of operating modes and properties of elements of vibratory machines in the construction industry on reliability processes]. *Грааль науки*, №4. P.209-214.
5. Nazarenko, I.I. (2010). Prikladni zadachi teorii vibracijnih system. Navchalnij posibnik (2-e vidannja) [Applied problems of the theory of vibration systems. Textbook (2nd ed.)]. Kyiv: Vidavnichij Dim “Slovo”.
6. Povidaylo V.O. (2004). Vibracijni procesy ta obladnannja. Navchalnij posibnik [Vibration processes and equipment. Textbook]. Lviv: National university “Lviv polytechnic”.
7. Nesterenko, M., Nazarenko, I., Molchanov, P. (2018). Cassette Installation with Active Working Body in the Separating Partition. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2), P.265.
8. Nazarenko I.I., Dedov O.P., Diachenko O.S., Svidersky A.T. (2017) Ohliad i analiz vibratsiinoho obladnannia dlia formuvannia ploskykh zalizobetonnykh vyrobiv [Review and analysis of vibration equipment for forming flat reinforced concrete products]. *Mining, constructional, road and melioration machines*, 90. 49–58.

УДК 666.9.033

 DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0204>
Микола Ручинський,

кандидат технічних наук,

професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів

Київський національний університет будівництва і архітектури

просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна

 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9362-292X>

 E-mail: ruchynskiyi.mm@knuba.edu.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРОСИСТЕМ БУДІНДУСТРІЇ

АНОТАЦІЯ. Розглянуто моделювання складних динамічних систем зі змінними характеристиками пружних елементів та отримані аналітичні залежності для реалізації багато режимних суб- і суперрезонансів і запропонована карта стійкості віброударних машин.

Ключові слова: резонанс, зона стійкості, віброударна система, пружність, пружні елементи.

DETERMINATION OF ELASTIC CHARACTERISTICS OF BUILDING INDUSTRY VIBRATION SYSTEMS

ABSTRACT. The design of the difficult dynamic systems is examined with removable descriptions of resilient elements and analytical dependences are got for realization of multimode resonances and the card of stability of vibration of shock machines is offered.

Keywords: resonance, zone of stability, vibroshock system, elasticity, elastic elements.

1. Постановка проблеми. Одним з можливих шляхів підвищення технологічного процесу є створення вібромашини, в конструкції якої передбачено параметр, що змінюється в часі, наприклад, використання додаткового пружного елемента [1].

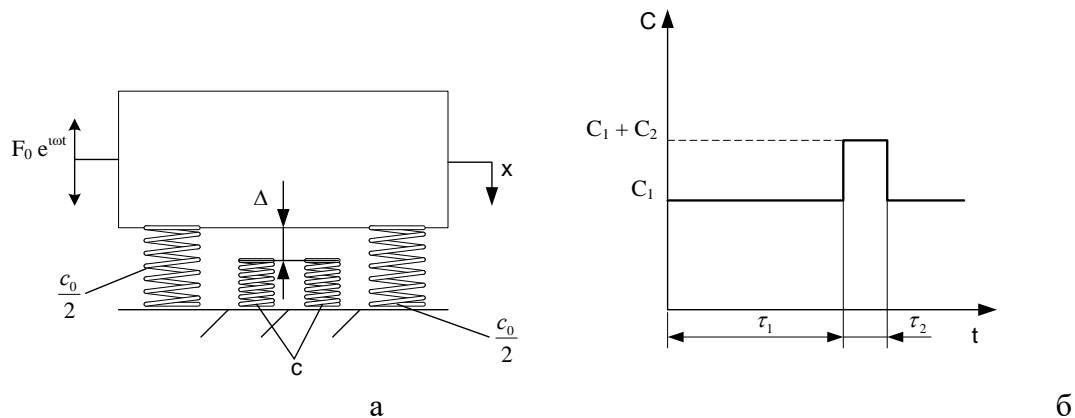


Рис. 1. Узагальнена віброударна система (а) і зміна пружності за період (б)

Таке рішення дає можливість отримати стійкі режими руху, в яких реалізуються як основний так і суб- і суперрезонанс, вивчення і встановлення яких має практичний інтерес. Обумовлюється це тим, що відкриваються нові потенційні можливості для передачі частот, відмінних від основної, що значно підвищує ефективність робочого процесу. Розглянемо наведену гібридну динамічну систему (рис.1, а), в якій коливання зв'язані з періодичною залежністю від часу параметра пружності (рис.1, б).

2. Моделювання та методика досліджень. Розглянемо наведену гібридну динамічну систему (рис.1, а), в якій коливання зв'язані з періодичною залежністю від часу параметра жорсткості (рис.1, б). Математичне визначення цього класу коливань зазвичай дається для

систем, рівняння руху яких зводяться до звичайних рівнянь у часі (параметричні коливання). В прийнятій розрахунковій схемі (рис. 1,а) під m розуміється приведена маса вібросистеми, що включає в себе масу машини, що коливається, і реактивний опір середовища:

$$m = m_{p.o.} + m'_o, \quad m_{p.o.}$$

де $m_{p.o.}$ - маса робочого органу;

$$m'_c = \frac{ES \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) \sqrt{\mu^2 + \nu^2} \cos \left[n\omega t + \arctg \left(-\frac{d_n}{a_n} \right) \right] \frac{N_{11}}{n}}{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) \sqrt{\mu^2 + \nu^2} \cos \left[n\omega t + \arctg \left(-\frac{d_n}{a_n} \right) \right]}, \quad (1)$$

де

$$N_{11} = \frac{\alpha_{11} sh(2\alpha_{11}h) - \beta_{11} \sin(2\beta_{11}h)}{ch(2\alpha_{11}h) + \cos(2\beta_{11}h)};$$

$$\alpha_{1n} = \frac{n\omega}{c_e \sqrt[4]{1 + \gamma^2}} \cos \left[\frac{1}{2} \arctg(-\gamma) \right];$$

$$\beta_{1n} = \frac{n\omega}{c_e \sqrt[4]{1 + \gamma^2}} \sin \left[\frac{1}{2} \arctg(-\gamma) \right].$$

Тимчасові відрізки (рис.1,б) τ_1 і τ_2 представляють відповідно час руху маси без контакту з пружними обмежниками коливаль, пружністю c і в контакті з цими елементами. Очевидно, що $T = \tau_1 + \tau_2$.

Розглянемо підхід, суть якого лежить в оцінці середньої за період T пружності c [2].

$$c = \frac{1}{T} \int_0^T c(t) dt = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{\tau_2} (c_1 + c_2) dt + \int_{\tau_2}^T c_1 dt \right\} = c_1 + c_2 \frac{\tau_2}{T}. \quad (2)$$

Тут відлік часу приймається з моменту контакту двох мас, що взаємодіють (рис.1). Підхід, що виражений у вигляді [2], дозволяє апроксимувати даний закон $c(t)$ функцією

$$c(t) \approx c_1 + c_x \cos \left(\frac{\pi}{2\tau_2} t \right). \quad (3)$$

Прийнятий запис обґрунтовується тим, що «прямокутний сплеск» $c(t)$ (рис.1,а) на ділянці $0 < t < T$ можна описати косинусоїдальною функцією, і так як $\cos \omega t \rightarrow 0$ при $t = \frac{1}{4}T$, то вибираючи $\tau_2 = \frac{1}{4}T$, будемо мати, що $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4\tau_2} = \frac{\pi}{2\tau_2}$. Для знаходження залежності для c_x будемо виходити з тотожності (2) і (3), маючи на увазі зміну $c(t)$ як середню за період T :

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left[c_1 + c_x \cos \left(\frac{\pi}{2\tau_2} t \right) \right] dt = c_1 + c_2 \frac{\tau_2}{T}. \quad (4)$$

Розв'язавши (4), отримаємо:

$$c_x = - \frac{\pi \cdot c_2}{2 \sin \left(\frac{\pi}{2\tau_2} T \right)}. \quad (5)$$

Знак « - » вказує, що значення синуса, що розглядаються, лежать в 3-й і 4-й чвертях $\frac{\pi T}{2\tau_2} > \pi$, відповідно, завжди $c_x > 0$. Дійсно, використовуючи дослідні дані [1,3,4], будемо мати $\frac{\tau_2}{T} = \frac{\tau_k}{T} = \frac{1}{3}$. Тоді при $\frac{\tau_2}{T} = \frac{1}{3}$; $c_x = \frac{\pi}{2} c_2$. Тоді є можливість записати рівняння коливаль системи (рис.1,а) в трохи іншому вигляді:

$$m\ddot{x} + \left[c_1 + c_x \left(\frac{\pi}{2\tau_2} t \right) \right] \dot{x} + v\dot{x} = F_0 \sin(\omega t + \phi), \quad (6)$$

де

$$m = m_c + m_c \left(a_1 + a_1^* \frac{\tau_2}{T} \right); \quad (7)$$

$$v = v_0 + m_c \left(\omega d_1 + \frac{\omega^*}{2} d_1^* \frac{\tau_2}{T} \right); \quad (8)$$

$$a_{1n} = \frac{\alpha_n \sin 2\beta_n h - \beta_n \sin 2\beta_n h}{h(\alpha_n^2 + \beta_n^2)[\operatorname{ch} 2\alpha_n h + \cos 2\beta_n h]}; \quad (9)$$

$$d_{1n} = \frac{\alpha_n \sin 2\beta_n h - \beta_n \operatorname{sh} 2\alpha_n h}{h(\alpha_n^2 + \beta_n^2)[\operatorname{ch} 2\alpha_n h + \cos 2\beta_n h]}.$$

На відміну від (8), тут a_1^* і d_1^* - коефіцієнти впливу реактивних і активних сил опору на частоті $\frac{\omega^*}{2}$, а a_1 і d_1 (див. 8) – коефіцієнти впливу реактивних і активних сил опору на основній частоті ω ; τ_2 - час контакту з c_2 ; T – період зміни пружності; $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $\omega^* \neq \omega$.

Розглянемо вільні коливання без врахування розсіювання енергії з наступним аналізом повного рівняння (6).

Припустимо $b = 0$ і F_0 , тоді рівняння (6) матиме вигляд:

$$m\ddot{x} + \left[c_1 + c_x \cos \left(\frac{\pi}{2\tau_2} t \right) \right] \dot{x} = 0. \quad (10)$$

Це рівняння Мат'є, в якому враховані хвильові процеси. Характер цього рівняння залежить від двох безрозмірних коефіцієнтів. Ввівши безрозмірний час $\theta = \frac{\pi}{2\tau_2} t \cdot \frac{1}{2}$, перетворимо рівняння (10)

$$\frac{d^2 x}{d\theta^2} + (\xi + 2q \cos 2\theta) x = 0, \quad (11)$$

де

$$\xi = \frac{4c_1}{m \left(\frac{\pi}{2\tau_2} \right)^2}; q = \frac{2c_x}{m \left(\frac{\pi}{2\tau_2} \right)^2}.$$

Розглянемо коливання з врахуванням вищих гармонік: $\frac{\pi}{2\tau_2} = \omega = 2n\omega$, де n – число, близьке до 2. Час контакту при цьому $\tau_2 = \frac{\pi}{2 \cdot 2n\omega} = \frac{\pi}{4n} \cdot \frac{T}{2\pi} = \frac{T}{8n}$. При цьому слід відмітити, що точно $n \neq 2$, так як інакше $c_x \rightarrow \infty$ згідно його виразу (5). Тому будемо брати числові значення $n = 1,9; 1,95; 1,975; 1,99$.

Таким чином, формули для визначення ξ, q, c_x будуть мати вигляд

$$\xi = \frac{c_1}{mn^2\omega^2}; q = \frac{c_x}{2mn^2\omega^2}; c_x = -\frac{\pi c_2}{2 \sin 4n\pi}, \quad (12)$$

чи після підстановки c_x і q отримаємо

$$\xi = \frac{c_1}{mn^2\omega^2}; q = -\frac{\pi c^2}{4mn^2\omega^2 \sin(4\pi n)}. \quad (13)$$

Необхідно встановити генерацію супергармонік з частотою $a\omega$ за рахунок параметричної зміни пружності в системі.

Коефіцієнт ξ (характеризує відношення власної частоти системи при середньому

значенні параметра c_1 до частоти зміни параметра пружності) і коефіцієнт q (характеризує ступінь зміни параметра пружності) повністю визначають стійкість руху. Площина зміни параметрів ξ і q може бути розділена на області, що відповідають стійким і нестійким. Якщо параметри ξ і q попадають в зону стійкості, тоді можливі періодичні рішення (10). При цьому період руху повинен вдвічі перевищувати період зміни параметра. Якщо ж зміна жорсткості пропорційно 4ω системи, тоді рух пропорційно подвоєної частоти системи 2ω і отримуємо супергармонійну складову в зоні стійкості.

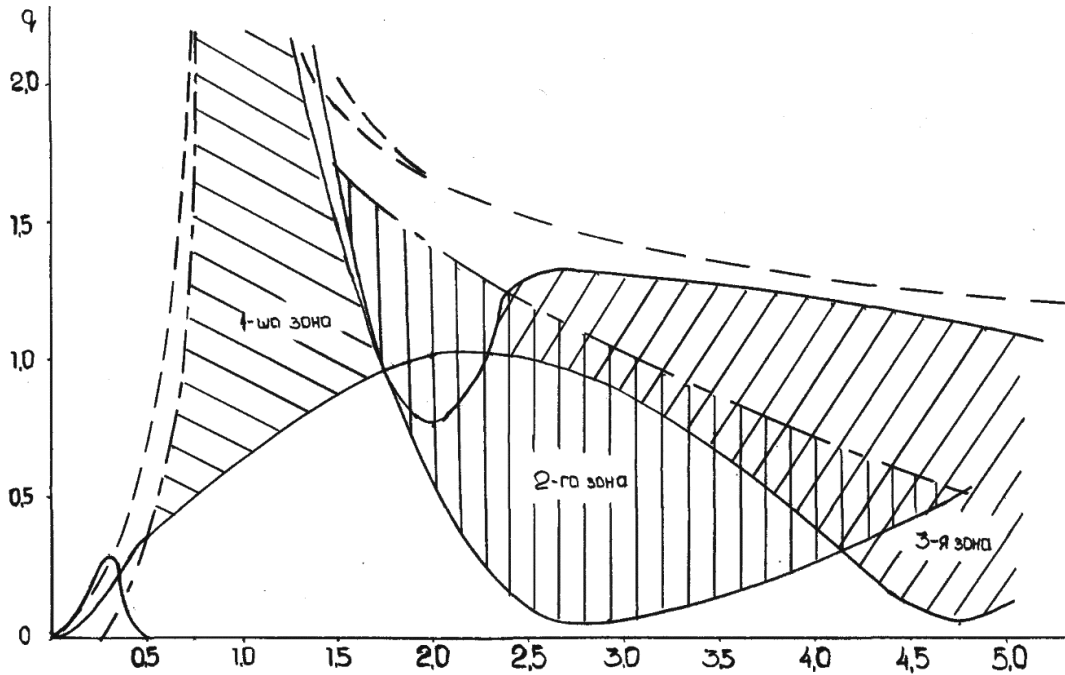


Рис. 3. Карта стійкості віброударної системи

А тепер врахуємо розсіювання енергії в системі, тобто $b \neq 0$. Тоді умова виникнення суперрезонансу буде при умові

$$(\xi - 1) - g^2 - \alpha_1^2 < 0, \tag{15}$$

звідки коефіцієнт

$$g > \sqrt{(\xi - 1)^2 + \alpha_1^2}; \quad \alpha_1 = b \frac{\omega^*}{2m}. \tag{16}$$

Звідси випливає, що якщо при відсутності тертя суперрезонанс настував при $g > (1 - \xi) \approx 1$, то зараз границя по g зростає, тобто умова (15) з врахуванням (14) матиме вигляд

$$-\frac{\pi c_2}{4m n^2 \omega^2 \sin(4n\pi)} > \sqrt{\left(1 - \frac{c_1}{m n^2 \omega^2}\right)^2 + \left(\frac{b\pi}{4m\tau_2}\right)^2}. \tag{17}$$

Стає очевидним, що зміна часу контакту τ_2 тягне за собою зміну параметра g . До цього можна додати, що оскільки дана система представляється гібридною (6), то коефіцієнт m , що має розмірність маси і визначає реактивний опір, залежить від частоти.

Звернемось до вихідного рівняння (6), тобто зараз розглянемо найбільш загальний випадок руху досліджуваної системи. Йдучи шляхом, аналогічним при отриманні рівняння (10), будемо мати

$$\ddot{\xi} + \alpha_1 \dot{\xi} + (\xi + 2g \cos 2\theta)\xi = 0. \tag{18}$$

Умовою нестійкості, як і раніше (15), є вираз $(\xi - 1) + g^2 + \alpha_1^2 < 0$, тобто наявність змушуючої сили не змінило зони стійкості і нестійкості параметричних коливань, що

розглядаються.

Оцінимо, які області коливальних режимів в координатах ω, x_0 . Нехай x_{01} - амплітуда на частоті ω , а x_{02} - амплітуда на частоті 2ω (суперрезонанс). Змушуюча сила має амплітуду F_0 на частоті ω :

$$x = x_{01} \sin \omega t + B_1 \cos \omega t + x_{02} \sin 2\omega t + B_2 \cos 2\omega t.$$

Тепер визначимо роботу зовнішніх і внутрішніх сил системи.

Робота зовнішньої сили на цикл коливань складає:

$$A = \int_0^{2\pi/\omega} F(t) \dot{x}(t) dt = \pi F_0 x_0 \sin \phi,$$

так як робота зовнішньої сили $F(t)$ над супергармонікою дає нульовий внесок.

Робота внутрішніх сил (сил тертя) за період коливань:

$$W = \int b_1 \dot{x}^2 dt = (\pi x_{01}^2 \omega + 4\pi x_{02}^2 \omega) b_1.$$

Із умови балансу енергії $A = W$ отримаємо:

$$\pi F_0 x_{01} \sin \phi = \pi b_1 \omega (x_{01}^2 + 4x_{02}^2),$$

Звідки $\sin \phi = \frac{(x_{01}^2 + 4x_{02}^2) b_1 \omega}{F_0 x_{01}}$. Оскільки $\sin \phi \leq 1$, тоді:

$$\frac{(x_{01}^2 + 4x_{02}^2) b_1 \omega}{F_0 x_{01}} \leq 1.$$

Із цієї нерівності матимемо:

$$x_{02} \leq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F_0 x_{01}}{b_1 \omega} - x_{01}^2}. \quad (19)$$

Для збільшення внеску супергармонік x_{02} необхідне зростання сили з одночасним зменшенням сил тертя b_1 і частоти ω .

Залежність x_{02} від x_{01} буде мати невелику верхню можливу межу.

Якщо $\frac{F_0 x_{01}}{\omega} - x_{01}^2 = f(x_{01})$, то необхідна умова буде виконуватись при $[f(x_{01})]'_{x_{01}} = 0$.

Тоді $\frac{F_0 x_{01}}{b \omega} - 2x_{01} = 0$ і $x_{01} = \frac{F_0}{2b_1 \omega}$. При цьому значенні амплітуди x_{01} амплітуда, що шукається:

$$x_{02} \leq \frac{1}{2} \sqrt{2x_{01}^2 - x_{01}^2} \leq \frac{1}{2} x_{01}. \quad (20)$$

При прийнятому підході матимемо, що $x_{02} \leq 0,5x_{01}$. Знаючи $x_{01} = \frac{F_0}{2b_1 \omega}$, можна отримати умову, що визначає амплітуду:

$$x_{02} \leq \frac{F_0}{4b_1 \omega}. \quad (21)$$

Наявність змушуючої сили в розглянутому наближенні не змінює карту стійкості, але задає обмеження зверху на амплітуду суперрезонансної гармоніки.

Таким чином, інженерні формули (14), (16), (21) дозволяють визначити необхідні параметри для реалізації суперрезонансного режиму роботи вібростеми при врахуванні хвильових процесів в ущільнюючому середовищі.

3. Висновки:

1. Запропонований метод моделювання складних змішаних дискретно-континуальних систем, дає можливість отримати аналітичні залежності для виявлення фізичних явищ, що виникають в віброударних системах.

2. Отримані залежності для визначення пружних елементів, які дають можливість реалізувати супергармонійний резонанс.

3. Приведена методика розрахунку основних параметрів віброударних систем і побудована карта стійкості, яка відображає реальний технологічний процес.

Список використаних джерел:

1. Назаренко И.И. Высокоэффективные виброформовочные машины. К.: Выща школа, 1988. – 144с.
2. Ручинський М.М. Експериментальні дослідження робочого процесу формування фундаментних блоків. – Колективна монографія: Машина, процеси, екологія, економіка та технологія будівництва (теорія, експеримент, ефективність застосування). К.: «Видавництво Людмила». 2020. С. 182-188, ISBN 978-617-7828-56-2.
3. Ручинський М.М. Високоэффективна машина для формування фундаментних блоків. – Техніка будівництва. – Київ: 2002. - №13, с.63-65.
4. Назаренко І.І., Свідерський А.Т. Новий підхід до створення та розрахунку віброущільнюючих машин з гідромеханічним та гідравлічним приводом. - Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002.-Вип.3(14).- с.65-68.
5. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2–е видання) / І.І. Назаренко. Київ: Видавничий дім «Слово», 2010. – 440с.
6. Ivan Nazarenko Research of Working Process of a Vibration Machine with Controlled Parameters of Motion / Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Mykola Ruchynskiy, Anatoliy Sviderskiy // International Journal of Engineering & Technology Home Vol 7, No 4.8 (2018).– P: 376-379, DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27273.
7. I. Nazarenko Development of energy-efficient vibration machines for the buiding-and-contruction industry / I. Nazarenko, M.Ruchynskiy, A.Sviderskiy, I. Kobylanska, D. Harasim, A.Kalizhanova, A.Kozbakova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY Vol 2019, No 4, p. 53-60, doi:10.15199/48.2019.04.10.
8. Назаренко І.І. Теоретичні дослідження робочого процесу ударно-вібраційної установки з визначенням законів руху та напружень в шарі бетонної суміші, що ущільнюється при кінематичному збудженні коливань / І.І. Назаренко, М.М. Нестеренко, С.М. Жигилій, Т.М. Нестеренко // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. - Х.: ХНУБА, 2016. - № 4 (86). - С. 172-176.
9. Ручинський М.М. Методи дослідження і розрахунку параметрів віброустановки для формування фундаментних блоків / М.М. Ручинський // Збірник «Гірничі, будівельні та меліоративні машини», Київ: КНУБА, 1999.- №54 - с.83-86.
10. Назаренко І.І., Ручинський М.М. Теоретичні дослідження динаміки машин для формування фундаментних блоків / Назаренко І.І. Ручинський М.М. // Прогрессивные технологии и машины для производства стройматериалов, изделий и конструкций. Тез. докладов Первой Всеукраинской научно-практической конференции. Полтава: ПДТУ, 1996. - с.146-147.

References:

1. Nazarenko I.I. Highly efficient vibration molding machines. K.: Vyshcha School, 1988. – 144 p.
2. Ruchynskiy M.M. Experimental studies of the work process of forming foundation blocks. – Collective monograph: Machines, processes, ecology, economy and construction technology (theory, experiment, efficiency of application). K: «Lyudmila Publishing House». 2020. P. 182-188, ISBN 978-617-7828-56-2.
3. Ruchynskiy M.M. A highly efficient machine for forming foundation blocks. – «Construction Technology». Kyiv.: 2002. –№13, pp.63-65.
4. Nazarenko I.I. A new approach to the creation and calculation of vibration sealing machines with hydromechanical an hidravlic drive / Nazarenko I.I., Ruchynskiy M.M., Sviderskiy A.T. // . – Bulletin of the Kremenchug State Polstehnic University: Science works of the KDPU. – Kremenchug: KDPU, 2002.-Issue 3(14).- pp.65-68.
5. Nazarenko I. Applied problems of the theory of vibration systems (2nd edition) / I.I. Nazarenko. Kyiv: "Slovo" Publishing House, 2010. - 440 p.
6. Ivan Nazarenko Research of Working Process of a Vibration Machine with Controlled Parameters of Motion / Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Mykola Ruchynskiy, Anatoliy Sviderskiy // International Journal of Engineering & Technology Home Vol 7, No 4.8 (2018).– P: 376-379, DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27273.
7. I. Nazarenko Development of energy-efficient vibration machines for the buiding-and-contruction industry / I. Nazarenko, M.Ruchynskiy, A.Sviderskiy, I. Kobylanska, D. Harasim, A.Kalizhanova, A.Kozbakova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY Vol 2019, No 4, p. 53-60, doi:10.15199/48.2019.04.10.

8. Nazarenko I.I. Theoretical studies of the working process of an impact-vibration installation with determination of the laws of motion and the stresses in a layer of concrete mixture compacted under kinematic excitation of vibrations / I.I. Nazarenko, M.M. Nesterenko, S.M. Zhigilii, T.M. Nesterenko // Scientific bulletin of construction: coll. Of science pr. – Kh.: Khnuba, 2016. – No.4 (86). – P. 172 – 176.
9. Ruchyskyi M. Methods of research and calculation of vibration installation parameters for the formation of foundation blocks / Collection «Mining, construction and reclamation machines», Kyiv, KNUBA, 1999.- №54 - p.83-86.
10. Nazarenko I., Ruchyskyi M. Theoretical studies of the dynamics of machines for forming foundation blocks / Nazarenko, I. Ruchyskyi M. // Progressive technologies and machines for the production of building materials, products and structures. Tez. reports of the First All-Ukrainian Scientific and Practical Conference. Poltava: PDTU, 1996. - p.146-147.

УДК 69.003.13

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0204>**Ігор Косминський,**

кандидат технічних наук,

доцент кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, УкраїнаORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0234-7166>E-mail: kosminskyi.iv@knuba.edu.ua**Андрій Довгаль,**

кандидат економічних наук,

директор ТОВ «ІРМА»,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1300-0192>**ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ БУДІВЕЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ**

АНОТАЦІЯ. В статті наведено вісім основних показників системи менеджменту якості, які дозволяють суттєво поліпшити систему керування якістю будівельної організації. Основні переваги цих показників збільшення прибутку, споживчої вартості, якості підготовки фахівців, підвищення конкурентоспроможності, встановлення взаємовигідних відносин будівельної організації з постачальниками та підрядниками.

Ключові слова: стандарт, система менеджменту якості, принцип, управління якістю.

MAIN INDICATORS OF QUALITY MANAGEMENT OF BUILDING ORGANIZATION

ABSTRACT: The eight main indicators of the quality management system, which can significantly improve the quality management system of the building are given in the article. The main advantages of these indicators increase profits, consumer value, quality of training, improving competitiveness, establishing mutually beneficial relationship building organization to suppliers and contractors.

Keywords: standard, quality management system, the principle of quality management.

1. Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. В умовах сучасної економіки проблема якості є найважливішим чинником підвищення рівня життя, економічної, соціальної та екологічної безпеки. Ця проблема актуальна і для будівельної галузі. В Україні діє система державного регулювання будівельної галузі заснована на її ліцензуванні. Система менеджменту якості визначає рівень якості будівельної організації. Сьогодні в будівельних компаніях керування якістю здійснюється недостатньо ефективно, тому що окремі елементи системи, не відповідають вимогам міжнародних стандартів ISO серії 9000. Для прикладу в ЄС допускають рівень браку не більше 2-3% обсягу від будівельної конструкції, в США такий допуск - 1%, в Японії - менше 1%. При оцінці якості будівництва показники повинні відповідати вимогам споживачів [3]. В даний час ефективні системи якості, що відповідають вимогам ринку, ґрунтуються на визначенні TQM (Total Quality Management), українською мовою - загальне управління якістю. Нові стандарти серії ISO ґрунтуються на восьми основних позиціях TQM.

2. Викладення основного матеріалу. Орієнтація на споживача лежить в основі першої позиції. Зростаючий прибуток і підвищення лояльності споживача є основними перевагами цієї позиції. При використанні цієї позиції вимірюється задоволеність споживачів і результатів діяльності будівельної компанії тим самим забезпечується збалансований підхід до споживача і до всіх зацікавлених сторін [1].

Додаткові конкурентні переваги лежать в основі лідерства, що є другим принципом TQM. Керівники будівельних підприємств повинні своїм прикладом демонструвати прихильність системі якості. Використовуючи цю позицію керівництво підприємства ставить питання управління і контролю якості у вигляді довгострокової політики і місії будівельної організації у всіх виробничих і функціональних підрозділах. Застосування цієї позиції сприяє реалізації максимальних можливостей персоналу і кращому вирішенню завдань якості. Таким чином, керівництво повинно підвищувати якість підготовки своїх фахівців і максимізувати можливість персоналу на краще вирішення завдань якості.

Сутність третьої позиції «Залучення персоналу» в системах управління якістю передбачає, що працівники всіх рівнів складають основу організації, і їхнє повне залучення дає можливість організації з вигодою використовувати їх здібності [3]. Економічний ефект від реалізації позиції може полягати в наступному: зниження собівартості, додаткове залучення, утримання і лояльність споживача; підвищення відповідальності працівників, оптимізація процесів і підвищення їх результативності та ефективності; поліпшення роботи в ланцюзі поставчань; розширення діяльності, підвищення надійності і стійкості організації [5];

Четверта позиція - це процесний підхід. Він розглядає будівництво, як безперервний технологічний процес, в якому бере участь безліч працівників, кожен з яких вносить в нього свій трудовий внесок, і загальний результат роботи залежить від внеску всіх учасників без винятку.

З процесним підходом тісно пов'язаний п'ята позиція - системний підхід, який передбачає поліпшення системи за принципом зворотного зв'язку з виробленням запобіжних дій. Дії, що виробляються можуть приймати різні форми: мотивація працівників, які безпосередньо виконують окремі види будівельних робіт; підвищення кваліфікації працівників; формування робочого персоналу з урахуванням структури робіт; контроль якості матеріалів; забезпечення якісними робочими кресленнями; дотримання технологічної послідовності робіт; дотримання умов приймання і зберігання будівельних матеріалів тощо.

Шоста позиція включає в себе безперервне (постійне) поліпшення. Безперервне поліпшення якості направлено на своєчасне задоволення потреб людей, їх очікувань та інтересів. Це забезпечує запас конкурентоспроможності та підвищення споживчої вартості виробленого організацією товару, що сприятливо позначається на економічному становищі, як організації-виробника, так і споживача [1].

Сьома позиція базується на методі прийняття рішень, заснованому на фактах. Виконання позиції вимагає вимірювань і збору достовірних і точних даних, з наступним їх аналізом, що передбачає спеціальну підготовку фахівців для застосування відповідних методів. Спираючись на цю позицію, не можна відкидати значення досвіду і інтуїції в прийнятті рішень, але важливо підкріпити рішення, сформовані на аналізі фактів і звітів.

І остання, восьма позиція - взаємовигідні відносини будівельної організації з постачальниками та підрядниками. Їх взаємовигідні відносини забезпечують обом сторонам найкращі можливості для реалізації та впровадження системи керування якістю. Треба підтримувати обмін інформацією і планами на майбутнє, проводити спільну роботу з чітким розумінням потреб споживачів, з метою поліпшення якості продукції і процесів [4].

Застосування восьми позицій може дозволити будівельним підприємствам, які впроваджують СМК Системи Менеджменту Якості), зайняти лідируючі позиції в очах споживачів і згодом завоювати ринок, тому що ця система здатна забезпечити вигоду всім учасникам, які задіяні в діяльності будівельної організації: замовникам, акціонерам, співробітникам, постачальникам. Якщо ввести СМК в таку організацію, в якій вона не особливо розвинена, можна простежити наступні поліпшення: замовники починають розглядати підприємство, як надійного партнера, внутрішня організація якого відповідає міжнародним вимогам і чия продукція відповідає їх вимогам і очікуванням; власники компаній набувають впевненість і гарантії в прискоренні окупності інвестицій, що в будівельному галузі грає одну з провідних ролей, і, отже, у збільшенні прибутку; співробітники і підрядні організації набувають впевненості в

стабільності і сталості замовлень. З цього випливає поліпшення загального клімату в організації, умов праці та забезпечує більшу ефективність роботи; постачальникам також вигідне співробітництво з організацією, яка застосовує в своїй роботі принципи TQM, тому що це означає для них стабільність замовлень, в перспективі зростання виробництва і надійність у подальшій співпраці [2]. При впровадженні даних принципів у виробництво будівельна організація закріплюється на ринку і набуває стабільність. Таким чином, вона починає виступати гарантом безпеки і стабільності для своїх підрядників, постачальників і замовників.

3. Висновок. Впровадження систем якості та застосування розглянутих позицій на будівельних підприємствах є одним з найважливіших чинників забезпечення конкурентоспроможності продукції та успішного функціонування будівельних компаній.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 9000: 2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT).
2. Нікогосян Н.І., Матвієвський С.В. (2015) Аналіз сучасних методів забезпечення якості будівельної продукції. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. - Вип. 34. - С. 13-21.
3. Adler U. (2000) SPC in 21st century / U. Adler, V Shper // Proceedings 44th European Quality Congress. – Budapest, Hungary.
4. *Quality management principles and guidelines on their application.* – ISO/TC 176/sc2/n 130-133. – 1997. – 05/09. – 20 p.
5. *International standard ISO 9000(E).* Second edition (2000-12-15). – ISO 2000.
6. Чуприна Ю.А. (2011) Сучасні методи управління якістю у будівництві. Управління розвитком складних систем. - Вип. 7. - С. 135-137.
7. Kerzner H., Wiley J. (2013) Strategic Planning for Project Management Maturity Model. – New York, Sons Inc. – 312 с.
8. В.І. Савенко, С.І. Доценко, С.П. Пальчик, П.Я. Калита та ін. (2018) Менеджмент якості в будівництві і геном ділової досконалості організації : монографія. Київ : Центр учбової літератури. 230 с.

References:

1. DSTU ISO 9000: 2015 Quality management systems. Basic provisions and glossary of terms (ISO 9000:2015, IDT).
2. Nikohosyan N.I., Matvievskiy S.V. (2015) Analysis of modern methods of ensuring the quality of construction products. Ways to increase the efficiency of construction in the conditions of the formation of market relations. - Vol. 34. - P. 13-21
3. Adler, U., Shper, V. (2000). SPC in 21st century. *Proceedings 44th European Quality Congress.* Budapest, Hungary.
4. *Quality management principles and guidelines on their application.* ISO/TC 176/sc2/n 130-133. (1997). 05/09.
5. *International standard ISO 9000(E).* Second edition (2000-12-15). – ISO 2000.
6. Chuprina Yu.A. (2011) Modern methods of quality management in construction. Management of the development of complex systems. - Vol. 7. - P. 135-137.
7. Kerzner H., Wiley J. (2013) Strategic Planning for Project Management Maturity Model. – New York, Sons Inc. – 312 с.
8. V.I. Savenko, S.I. Dotsenko, S.P. Palchyk, P.Ya. Kalita and others. (2018) Quality management in construction and the gene of business excellence of the organization: monograph. Kyiv: Center for Educational Literature. 230 p.

Технологія захисту навколишнього середовища

УДК 628.336.5

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0205>

Radomska Marharyta,

Doctor of Philosophy,
Associate Professor of the Department of Ecology,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8096-0313>
E-mail: m.m.radomskaya@gmail.com

Ratushnyuk Lesya,

student,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Yaroshenko Dmytro,

student,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Yarokhmedova Ivanna,

student,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Guz Valeriy,

student,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Melnychenko Vitaly,

student,
National Aviation University,
L. Huzar Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRATEGIES FOR ADAPTATION OF URBAN AREAS TO CLIMATE CHANGES

ABSTRACT. Purpose. Managing complex systems, especially those related to environmental balance, is among the most complicated tasks. Climate changes raise challenges for the safety and well being of urban population. Successful solutions to these challenges can be found provided that thorough analysis of the system interactions is conducted. The aim of the paper is to define the most efficient approaches to adapting urban areas to climate changes. **Methodology/approach.** The system analysis was based on the conceptual modeling. The three-step procedure included system description, cause-effect analysis, factors weighting and utility calculation. The last step was multi-criteria evaluation, defining most efficient approach to adaptation. **Findings.** The "city-climate-population" system has multiple components able to amplify the effects of climate changes, but most of them are manageable. The comparison of three alternative approaches - nature-based, organizational and engineering solutions, using multi-criteria evaluation, showed that the complex of nature-based solutions will provide the best result, but the engineering solutions and organizational ones proved to be competitive options. **Research limitations/implications.** The results of the modeling provide useful background for planning adaptation in cities and efficient use of available resources; however, it doesn't give ready solutions. **Originality/value.** The research results demonstrates feasibility of all alternatives, therefore, stakeholders are able to make informative decision, which approach they will pursue, depending on the target issues and finance reserves of a community

Key words: Climate change adaptation, Urban Environment, Decision making, Multi-criteria evaluation, State of environment

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ АДАПТАЦІЇ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ ДО ЗМІН КЛІМАТУ

АНОТАЦІЯ. В статті розглядаються стратегії адаптації міських територій до кліматичних змін. Чинник клімату натеper є одним з основним модифікаторів рівня екологічної безпеки міста. Зважаючи на зміни клімату та наслідки, які вони несуть, необхідність адаптуватись до нових кліматичних умов постає у кожному місті у тій чи іншій мірі. Методичну основу даного дослідження складає концептуальне моделювання, яке включало такі кроки: опис системи, в якій відбувається взаємодія жителів міста, клімату та якості довкілля загалом; побудова концептуальної моделі, опис взаємодії між складовими систем; визначення чинників, що визначають успішність адаптації та їх ранжування за важливістю з призначенням вагових коефіцієнтів; багатокритеріальна оцінка запропонованих стратегій адаптації. В якості основи для роботи був використаний Оболонський район міста Києва. До розгляду були запропоновані стратегії, що будуються на основі центральної концепції – природничі рішення, організаційні рішення та інженерні рішення. За результатами порівняння стратегія адаптації, побудована на використанні природничих рішень отримала найвищий рейтинг. Дана стратегія може забезпечити не лише прямі вигоди у формі адаптації, а й додаткові переваги. Разом з цим, впровадження проєктів з розширення зеленої та блакитної мережі міста потребуватиме серйозного перепланування території та перегляду транспортних маршрутів. Важливо відмітити, що інші розглянуті стратегії отримали високі бали в ході оцінки, а отже стейкхолдери при прийнятті рішення щодо вибору стратегії адаптації можуть обрати іншу стратегію, але вже цілком свідомо щодо її недоліків та очікуваної ефективності.

Ключові слова: адаптація до зміни клімату, міське середовище, прийняття рішень, багатокритеріальне оцінювання, стан довкілля.

1. Introduction. Adaptation to climate changes is an important issue for consideration in most of development projects of settlements. In particular, cities turn to be hotspots of climate changes due to both high concentration of population and factors contributing to aggravation of thermal pressure. At the same time urbanization is ongoing trend for most countries and expansion of residential areas must be done in a way, which reduces possible health threats and ensures safe living conditions.

A wide variety of similar projects have been already developed, but adaptation is always in need for some original ideas and thorough considerations, since there is no single solution that fits all cities.

2. Literature Review. Ukraine has adopted the Strategy for environmental safety and adaptation to climate change to 2030, stating that there is a range of cross-sectoral problems for development and implementation of efficient responses to climate changes [1]. In particular, there is a problem with a range of fundamental problems, like lack of the existing trends analysis and risks assessments for cities [2]. Without the appropriate risk assessment and vulnerability assessment of each city the risk of maladaptations increases, leading to even more severe problems [3]. Furthermore, adaptation to climate changes intends the development of full-scale strategy, which covers all components of urban ecosystem and municipal infrastructure [4]. But it should not end up in only plan and description, the implementation plan and milestones must be embedded into any strategy to guarantee its efficiency. Adaptation to climate changes has also been recognized as one of Sustainable Development Goals and as such it turned to be strongly interacting with all other goals, which wasn't obvious at the beginning of this trend [5]. In particular, equality is an important issue, since not only countries, but neighbourhoods within a single city have very different possibilities and potential for adaptation [6].

Ukrainian approach to climate adaptation is under active development now. The rate of the downscaling National strategy to local needs is stimulated by the need to plan post-war reconstruction of cities, which opens a new room for integration of climate change into municipal planning and design strategy. There is a range of successful programs implemented in Vinnytsia, Zhytomyr, Khmelnytskyi, Kamianets-Podilskyi. But there is one very important issue, typical for all these cities and their strategies: they work mostly towards reduction of GHGs emissions and mostly via energy efficiency improvement. Undoubtedly, this is a task of highest priority, but this is not about

adaptation, rather it deals with mitigation of climate changes. Thus, there is a need to understand the complex interactions within urban system at the interface of climate, infrastructure, human health and environment quality in order to build a clear picture of adaptation approaches able to provide high efficiency at lower costs.

3. Problem Statement. Climate adaptation is only efficient when it addresses local issues, created by climate change effects and is tailored to local environmental, social and economic conditions [7]. Given that the idea of the research was to consider perspectives of different adaptation strategies on the example of urban areas with the highest urgency for mitigation and adaptation efforts. The choice was made through the focus of heat island intensification, since it is the most profound manifestation of climate changes in cities. Based on thermal maps of Kyiv city, produced by satellite imagery [8], the areas with the highest land surface temperature were defined. These are Obolon district (eastern part) and Darnytsky district (Kharkiv massif and Osokorky massif). Of these areas Obolon district possesses the most unfavourable combination of factors.

Thus, the Obolon district of the city of Kyiv borders the right (western) bank of the Dnieper River, which provides a general cooling affect for its eastern part. But closest to the river, this cooling is considerably reduced due to a dense row of high-rise buildings along the river. As a result, this area is characterized by high density of buildings, intensive air pollution, small areas of water bodies and green spaces, and a comparatively intense heat island.

So, the main research question was formulated as follows: How to reduce the intensity of climate changes effect on the residents of Obolonsky district?

The tasks included development of the conceptual model for the system, analysis of impacts, formulation of alternative adaptation scenarios and their comparison, using the modelling apparatus of Multi-Criteria Evaluation. The expected result is not the exact plan of action, but the focus of adaptation measures, which has potential to shift the balance in the ecosystem toward more comfortable and safe living condition even under growing thermal pressure.

This preliminary modelling also provides a critical perspective on uncertainties that need attention for actual management decisions.

4. Methods and Materials. The interactions in the system “residents-climate-living conditions” form a very complex system, which need transdisciplinary efforts for their solution. To facilitate this task it is necessary to understand the structure and dynamics of such systems, which can be achieved with the help of conceptual modelling, avoiding complicated math work.

The interest to conceptual modeling has grown considerably over the last decade, and as a result a variety of approaches is available now, producing certain confusion [9]. The given research generally follows the framework, suggested by R. Steavens, based on earlier publications by Keeny (1976) and Saaty (2008) [10]. The general procedure in this case includes three major steps:

1) System characterization. This includes description of the environment or conditions associated with the problem, factors and processes defining the system under investigation. The results of the initial data collection are formed into so called System Sketch, which is used to determine the parameters most appropriate for further modeling.

2) System structural analysis. This step intends to identify and study in details parameter relationships in the system. The central part of this step is the development of the impact matrix, which reflects the intensity of impact of each parameter on others is rated by the scale from 0 to 4. The accumulated sums of rows and columns represent the combined impact and effect of parameters on each other, and these sums are used as coordinates to plot a “Cause and Effect” diagram. The diagram analysis helps in defining those parameters, whose manipulation can help manage the problem towards the desired solution.

3) Synthesis modeling (using Multi-Criteria Evaluation, MCE). MCE is a very useful tool for combining the impact of different parameters within a system on its final status. This is the moment when the conceptual modeling shifts from the internal relationships in the problem to its solutions. The MCE has been proved to be efficient for the solution of various environmental tasks [11] and for urban sustainable development planning in particular [12]. It is also the step at which

computation techniques are used and qualitative parameters are given specific numerical values. The overall structure of a MCE is described with the equation:

$$R = w_i \cdot u_i, \tag{1}$$

where R is the rank of each solution, w_i – weight of each parameter of the system, u_i – level of each parameter in the given solution.

Since parameters are given in different units, they are transferred into the values from 0 to 1, using specially constructed utility diagrams.

Complex systems like the one discussed in the given paper are The Multi-Criteria Analysis represents a group of methods applied to support decision making process in cases of preliminary site and situation assessment and when the necessary data are partially lacking or absent.

5. Results. System Sketch: Extreme hot periods increase the risk of heatstroke and negatively affect people's health in general. Indoor cooling in buildings leads to an increase in electricity consumption.

Climate change can also have an impact on the vegetation and green spaces in the area. High temperatures and insufficient moisture can lead to plant death, affecting the aesthetic appearance of the area and air quality. At the same time, changing precipitation patterns cause increased precipitation over shorter periods time of time, which, in turn, lead to inefficient runoff collection and flooding. All together these factors lead to degradation of water quality.

As a result, urban residents are under the combined pressure of environmental, social and economic effects due to climate change. Moreover, factors from these groups further amplify each other, with environmental effects causing the most intensive feedbacks.

However, most of these effects are manageable (Fig. 1) and thus an efficient strategy for city adaptation should be able to mitigate most of consequences.

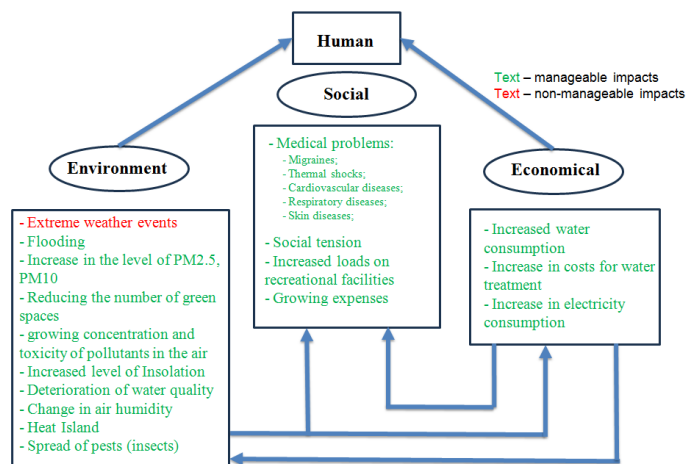


Fig.1. System sketch: effects of climate changes on humans in city

System Structural Analysis

Using the system sketch, the most important components of problems in the system “residents-climate-living conditions” were defined for Obolon district and listed as follows:

1. Flooding – the one caused by heavy rains over untypically short periods; this problems connected to the storm water collection system, which is not designed to receive such high volumes of runoff;

2. Air pollution – it is typical problem of cities, but extreme heat leads to the formation of secondary pollutants, raise human health hazards.

3. Urban heat island is a part of settlements microclimate, but climate changes are able increase its intensity.

4. Green spaces decline is also common issue for urban green infrastructure, due to combined pressure of environment pollution of all components; but climate changes accelerate this process and also force the change of species composition.

5. Water quality issues appear in various forms in cities, but due to climate changes and intensified urban heat island, additional polluted runoff enters local water bodies without treatment, thus compromising water supply to local residents and enterprises.

6. Medical problems are the direct consequence of heat waves and urban heat island intensification, leading to reduced quality of air and water.

7. Pressure on recreation facilities – it is growing, since overall area of green spaces is declining, but people in search for cool and shaded areas are more interested in visiting recreational areas of a city.

8. Growing expenses of urban residents appear due to longer working hours of climate control systems and medical expenses to treat heat induced health disorders.

9. Demand for power – it is general trend for urban areas, but air conditioning systems, additional water treatment and pollution control lead to increasing power consumption.

The defined components of the problem were studied in terms of their mutual interactions. The impacts within the system were rated from 0 to 4 (Fig.2). These interactions were also presented as a figure, demonstrating interactions and mutual impacts of different strengths and potential for positive feedback loops (Fig.3). The system is dynamic and has high variability of states over time.

	Flooding	Air pollution	Urban heat island	Green spaces decline	Water quality issues	Medical problems	Pressure on recreation facilities	Growing expenses	Demand for power	Impact
Flooding	0	1	0	2	4	3	2	4	2	18
Air pollution	0	0	2	3	1	3	2	2	2	15
Urban heat island	0	4	0	4	3	4	4	4	4	27
Green spaces decline	3	4	4	0	3	2	3.5	2	1	22.5
Water quality issues	0	1	0	2	0	4	3	4	1	15
Medical problems	0	0	1	0	0	0	3	4	4	12
Pressure on recreation facilities	0	2	2	3	2	2	0	1	1	13
Growing expenses	0	3	0	1	1	4	2	0	0	11
Demand for power	0	4	3	1	1	1	0	4	0	14
Effect	3	19	12	16	15	23	19.5	21	15	

Fig. 2. Impact matrix

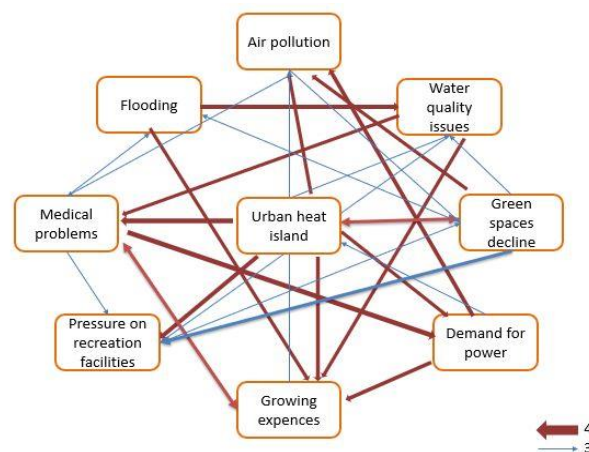


Fig.3. Most important impacts in the system

Based on the sums obtained from Impact Matrix, impacts were plotted to separate causes from effects (Fig.4). Urban heat island and flooding are the obvious causes of most problems in the city, while health issues and living standards are the most affected.

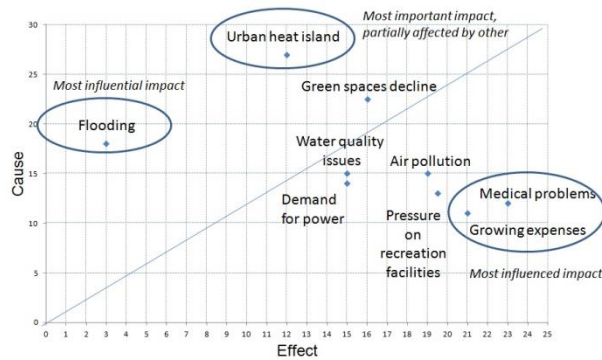


Fig.4. Impacts Interactions in the system

There is a range of impacts involving both of these aspects and therefore able to provoke additional effects if forcing trends are not checked.

Multi-Criteria Evaluation

At the next step the modeling process puts its focus on the choice of efficient solutions to the problem. Since the main research question was about the reduction of the intensity of climate changes effect on the residents of Obolonsky district, the Factors of City climate formation were considered from the point of their potential contribution or prevention of the urban adaptation to climate change. The analysis showed that the massive of factors can be divided into input factors, which create and limit the potential for adaptation and output factors, which represent the desired effects from adaptation (Fig. 5).

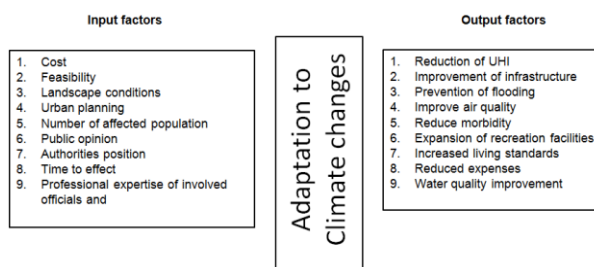


Fig. 5 Factors important for decision making in adaptation of urban environments to climate changes

For the purpose of modeling the shortlist of factors, reflecting efficient adaptation, was formed and includes:

- Reduction of UHI
- Prevention of flooding
- Improve air quality
- Reduce morbidity
- Water quality improvement
- Cost
- Feasibility

For each of the factors considered, the weights (w) were assigned according to their relative importance for the adaptation efficiency via pair-wise matrix comparisons (Fig. 6).

Relative weights of factors were assigned by the members of the team individually and then revised and final weights were assigned by compromise between assigned individual weights. The general idea of the pair-wise comparison is reverse symmetry: in each pair of factors one was

rated as 3-6-9 and then the second factor would be granted a reverse weight – 1/3-1/6-1/9 correspondingly. If both factors are equally important, they are both given rating of 1.

	Reduction of UHI	Prevention of flooding	Air quality improvement	Reduce morbidity	Water quality improvement	Cost	Feasibility	Weight
Reduction of UHI	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3	12.00
Prevention of flooding	1.00	1.00	0.33	0.17	1.00	3.00	3	8.50
Improve air quality	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	6.00	3	15.00
Reduce morbidity	1.00	6.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3	17.00
Water quality improvement	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	3.00	3.00	8.67
Cost	0.33	0.33	0.17	0.33	0.33	1.00	1.00	2.50
Feasibility	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	2.65

Fig. 6. Weighting matrix for adaptation factors

As it is seen from the Fig. 6 the most important targets are reduced morbidity and improved air quality, followed by reduction of the urban heat island. The lowest weights of costs and feasibility are explained by the general assumption of the working team that building adaptation potential of a city under current condition cannot be limited by costs (it is managed via dividing projects into stages), nor by technical feasibility, which will be important, when considering and comparing exact actions.

Alternative approaches to adaptation of the district to the climate changes were built around a major conceptual principle, used to develop the possible action plans:

- Sc.1 – **Nature-based solutions** - Development of green and blue infrastructure.
- Sc.2 – **Complex of organizational solutions**, which does not need major interventions into infrastructure and build the result on combination of small, but efficient unit changes, including change of coloration on buildings; shading systems; outdoor systems for cooling (irrigation, fountains, etc.); improvement of drainage system.
- Sc.3 – **Engineering solutions** – this scenario represent the most intensive reconstruction of a city, which includes urban transport modernization, development of renewable energy facilities, renovation of industrial areas to remove major sources of environment pollution and put the enterprises their on track to sustainability

These scenarios or strategies of adaptation were rated using MCE and the equation (1).

To make the factors comparable in terms of units, they were transformed into relative indices, based on utility diagrams, demonstrating the dependencies between the values of factors and adaptation efficiency. These diagrams (Fig.7) were set based on available research data and competence of the participants.

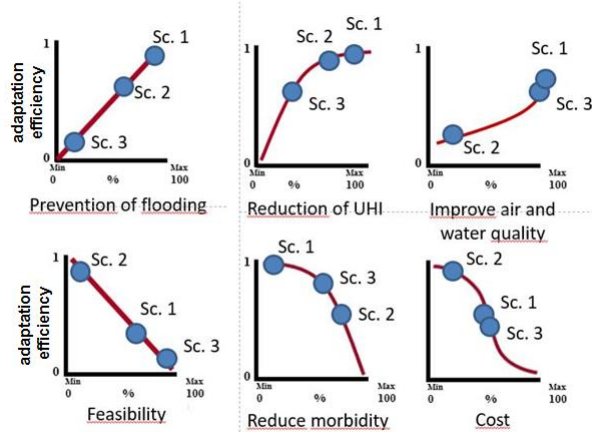


Fig. 7 Utility diagrams, showing dependence between the value of factors and efficiency of urban area adaptation

By combining the factor values in terms of adaptation efficiency (they are shown for each scenario at Fig. 7) and relative weight in the system the total sums of utilities for each strategy were derived and plotted on the diagram (Fig.8).

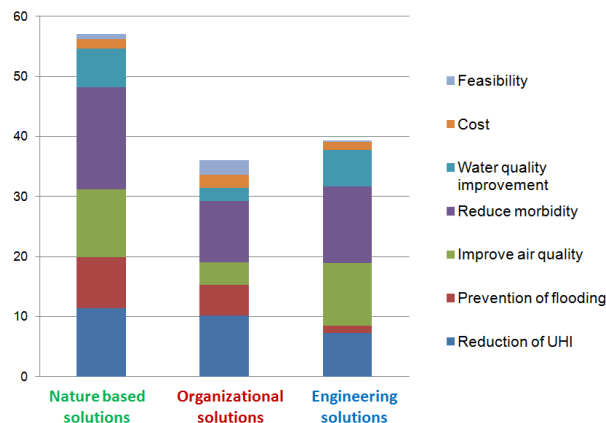


Fig. 8 Comparison of adaptation scenarios

Scenario 1 – Nature-based solutions, received the highest score, since it is able to reduce urban heat island intensity, improve air and water quality as well as reduce morbidity better than others.

It is also able to provide additional opportunities apart from climate adaptation:

- Create new jobs;
- Motivate the improvement of urban planning legal framework;
- Increased efficiency of resource use;
- Expand recreational opportunities and provide tourist attraction.

However, it will probably cause displacement of some population and problems with transport routes redevelopment.

Support and maintenance of created green and blue infrastructure is costly in terms of finance and labor.

5. Conclusions:

Based on the MCE, we observe that the first scenario (nature based solutions) has the greatest cumulative score compared to the others.

Another important result of modeling is that organizational solutions, which are relatively easy to implement and finance, are almost comparable in the achieved effect with the Engineering solutions, which include massive reconstruction and modernizations of industrial areas, urban transport and infrastructure.

As a result stakeholders may choose the option with Organizational solutions due to its cost-benefit ratio.

If the improvement of human health is in the focus, that the Nature-based solution option will be the optimal one, but if the reduction of Urban heat island is a priority, than the Organizational solutions may be seen more attractive. Some parties could be also interested in the third scenario because it is advantageous for economic reasons will give positive effects beside climate adaptation itself.

References:

1. The Environmental Security and Climate Change Adaptation Strategy of Ukraine until 2030. Implemented by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1363-p, October 20, 2021. (In Ukrainian)
2. **Shevchenko O.G.** (2017). Climate change manifestation on the territory of Kyiv and main approaches to its adaptation. Magazine of Cartography, No. 1 (17), 108-122. (In Ukrainian)
3. **Schipper E.L.F.** (2020) Maladaptation: when adaptation to climate change goes very wrong. One Earth, No. 3 (4), 409-414,
4. **Aguiar F.C., Bentz J., Silva J.M.N., Fonseca A.L., Swart R., Filipe Duarte S., Penha-Lopes G.** (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. Environmental Science & Policy, 86, 38-63.
5. **Bulkeley H.** (2022). Climate changed urban futures: environmental politics in the anthropocene city. In *Trajectories in Environmental Politics* (pp. 263-281). Routledge.
6. **Swanson, K.** (2021). Equity in Urban Climate Change Adaptation Planning: A Review of Research. Urban Planning, 6(4), 287-297.
7. **Owen G.** (2020). What makes climate change adaptation effective? A systematic review of the literature. Global Environmental Change, 62, 102071.
8. **Piestova, I., Lubskiy, M., Svideniuk, M., Golubov, S., & Laptiev, O.** (2019). Urban thermal micro-mapping using satellite imagery and ground-truth measurements: Kyiv city area case study. Ukrainian journal of remote sensing, 21, 40-48.
9. **Robinson S., Arbez G., Birta L.G., Tolk A. Wagner G.** (2015). Conceptual modeling: Definition, purpose and benefits. 2015 Winter Simulation Conference (WSC), Huntington Beach, CA, USA, 2812-2826.
10. **Stevens R. L.** (2021). A methodology manual for conceptual modeling to aid multidisciplinary and international project initiation. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, Vienna, 21(2.1), 79-86.
11. **Huang I.B., Keisler J., Linkov I.** (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. Science of the total environment, 409(19), 3578-3594.
12. **Wang, W. M., Peng, H. H.** (2020). A fuzzy multi-criteria evaluation framework for urban sustainable development. Mathematics, 8(3), 330.

УДК 628.336.5

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0207>**Mehdiyeva Nigar Zeydulla,**

Doctor of Philosophy,

Institute of Soil Science And Agrochemistry

Ministry of Science And Education of the Azerbaijan Republic,

AZ1073, Republic of Azerbaijan. Baku city. Street : Mammad Rahim 5,

E-mail: niqu598@gmail.com**MINERALIZATION OF THE SUBSOIL WATER IN THE SOIL OF THE SIYAZAN SUMGAYIT MASSIVE**

ABSTRACT. *The thorough information of the soil in the Siyazan-Sumgayit massive was given in the article. It was determined as a result of the investigation that grey-cinnamonic soil of the central and coastal zones.*

In the research period the water samples were taken from the drain paasing through the edge of the experimental area selected in the massif, from the channel of the Takhtakorpu Reservoir and the soil section and mineralization was determined in it. It was defined that mineralization in the same water samples was 5,75 g/l (for dry residue); 0,58g/l in the channel, but 2,16 g/l in the soil section. The salt type is chlorine in drain, but it is chlorine-sulphatic in the channel and soil section.

The groundwater spreading in the zones of the Khizi and Siyazan regions is sulphate- chlorine-natrium, chlorine-sulphate-natrium for a chemical composition. The long-term researches indicated that a level of groundwater in the Khizi region changes 1-18m from the surface, but it accordingly changes by 0.5-16.5m and 0.3-8.5m. In small areas the groundwater level changes by 0.5-16.5m, but mineralization rate changes from 0.8g/l to 69.3g/l. The soil over three regions is exposed to chlorine-sulphate, sulphate-chlorine salinization.

Key words: *subsoil water, mineralization, evaporation, salinization, irrigation*

МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ГРУНТОВИХ ВОД У ГРУНТАХ СІЯЗАНСЬКОГО СУМГАЙТСЬКОГО МАСИВА

АНОТАЦІЯ. *У статті наведено вичерпну інформацію про ґрунти Сіязансько-Сумгайтського масиву. В результаті досліджень встановлено, що сіро-коричні ґрунти центральної та прибережної зон.*

У період досліджень були відібрані проби води з дренажу, що проходить через край дослідної ділянки, виділеної в масиві, з русла Тактакорпу водосховища та визначено в ньому розріз ґрунту та мінералізацію. Визначено, що мінералізація в тих же пробах води становила 5,75 г/л (по сухому залишку); 0,58 г/л в руслі, але 2,16 г/л в ґрунтового розрізі. Тип солі – це хлор у стоці, але хлорно-сульфатний у руслі та ґрунтовій частині.

Підземні води, що розповсюджуються в зонах Хізінського і Сіязанського районів, за хімічним складом є сульфатно-хлорно-натрієвими, хлорно-сульфатно-натрієвими. Багаторічні дослідження показали, що рівень підземних вод в районі Хизи змінюється на 1-18 м від поверхні, але відповідно змінюється на 0,5-16,5 м і 0,3-8,5 м. На невеликих ділянках рівень ґрунтових вод змінюється на 0,5-16,5 м, але показник мінералізації змінюється від 0,8 г/л до 69,3 г/л. Ґрунт трьох районів піддається хлорно-сульфатному, сульфатно-хлорному засоленню.

Ключові слова: *ґрунтові води, мінералізація, випаровування, засолення, зрошення*

1. Introduction. The soil was subjected to salinization and solonetzification to a different degree as a result of intensive use of the soil in connection with the agriculture development. A level of the subsoil water gradually rises as result of irrigation, the salt in its content is collected in the upper layers and the same zones become saline. In order to prevent salinization that may occur in connection with this, high agrotechnical complex should be applied in irrigation agriculture, the irrigation networks should be correctly used and the irrigation rules must be correctly performed [10]. The soil in the Siyazan-Sumgayit massive is salinized to a various rate, and study of mineralization of the subsoil water is considered an actual issue.

2. Research object and method. The experimental areas have been selected in the Gilazi and Shurabad villages of the Khizi district which is situated in the Siyazan-Sumgayit massif. The water samples were taken from the drain passing through the edge of the experimental area selected in the massif, from the canal of the Takhtakorpu Reservoir and soil selection and the chemical analyses were implemented according to the widespread method in the republic. [4]

3. Discussion and Analysis. Some scientist performed researches in the Siyazan-Sumgayit massif which has deluvial plain. Firstly, S.I.Tyuremnov showed that there is salinized soil with deluvial origin in Azerbaijan. Later, V.R.Volobuyev, V.A.Kovda, A.N.Rozanov, V.V.Yegorov and others investigated salinization of the soil in Azerbaijan plains. The researches noted that the chestnut, grey-cinnamonic soil (Calcic Cypsisols) spreaded in the Siyazan-Sumgayit massif. The deluvial and salinized soil in the foothill plains of Azerbaijan was subjected to partial absorption and irrigation. The soil of the appropriated zones is used under cereal plant, but a little areas are used under the orchard plants in the Siyazan-Sumgayit massif. The soil over the whole profil is calcareous, it boils with chloride acid to a strong, M.R.Abduev (1966) noted that from the surface, boiling from acid is very strong for grey-cinnamonic soil. The grey-cinnamonic soil in the thin dense layer (40-50cm) of the massive soil is subjected to strong salinization. Dry residue is 2,5-2,8% in the saline soil. The plume zone of the massive is distinguished with the shortage of humus, and this related to the development of the salttolerant plants. pH index is higher in the deep horizons. The characteristics soil develop in the deluvial sediments collecting in the plumes and in the ravines.

The porous greenish (palevo-)-grey crust is observed on the upper layers of the grey-cinnamonic (Calcic Cypsoils) soil. Absorbed Na is 30-50% in the saline horizons of the Siyazan-Sumgayit massive, a sum of the absorbed bases is 17-24 mg.eq. Such cases indicate beginning of the solonotzefication process [12].

A color of the humus layer in the grey-cinnamonic (calcic Cypsisols) is grey-cinnamonic, greyish and it is observed at 40-50cm. Depth of the subsoil water in this soil is 2-5 meters and mineralization changes by 3.0-17.6 g/l.[6].

Formation of crust in the grey-cinnamonic (Calcic Cypsoils) soil is connected with the high dispersion of the organic part and contrast in hydrothermic regime if the soil. The meadow-desert-grey-cinnamonic soil spreads in the small areas of the zone with the same soil [5]. They develop under cereal-wormwood plants in the depression area. This soil becomes differently leached or salinized to a various degree depending on character of the soilforming rock location in the relief.

Within grey-cinnamonic soil, it is possible to find soil with all types of granulometric composition, from sandy soils to loamy soil. This soil belongs to chloride-sulphatic type and weak structure is characteristic for the same soil and the humidity supply isn't more [9].

Kuloshvili N.S. divided the subsoil water into two are as for its location depth as a result of his researches in the massif in 1948. The first area is situated near the sea and forms the terrace of the ancient Caspian Sea, here the groundwater is located at a depth of 6-10 m from surface. The groundwater is observed at a depth of 7.5 m in the southeast of Zarat settlement. But the groundwater is revealed at a depth of 8-9m in the area joining the middle zone of the deluvial-proluvial plain. [2]

Akbarov I.A. [3] studied water-salt regime in the irrigated soil of the Siyazan-Sumgayit massif. It was determined as a result of the consequences that slow decline of the salt supply in the soil of the experimental area in the research years.

Ismayilov B.N. [7] studied an impact of irrigation on dynamics of the soil processes in the meadow-grey soil of the Samur-Davachi massif and he determined that the profile was subjected to the strong morphogenetic changes as a result of intensive use of the various agricultural plants and irrigation with silly river water for a long-term irrigation of ameliorated species leached from salt in meadow-grey soil.

Suleymanov N.R. [11] performed long-term researches in the massif, and determined that the heavy gleyey soil with natural origin of the Siyazan-Sumgayit massif widespread in the plain

part of the coastal zone. Absolute maxima and minima of the hydrothermal regime create a condition for formation of takyr-like morphological structure in the upper layers of the soil.

The hydrogeological condition of the region is various, waterpermeability of the ground stratum that is located near the surface is small and very small depending on geomorphological structure of the ground [8].

The useless water-physical character of the soil in the zone doesn't allow to get high crop from agricultural plants. At the same places of these zones forms crust in the gleyey soil, this demands conduction of the special agrotechnical measures in the same soil. A chemical composition of the groundwater in the Khizi and Siyazan regions is sulphate-chlorine-sodium, chlorine-sulphate-sodium.

The groundwater of the Siyazan-Sumgayit massif is located at a depth of 1.6-2.0m from the surface in the coastal part. Mineralization of the groundwater over the seasons vibrates by 35-45g/l. The salt type belongs to chlorine-sulphate, sulphate-chlorine in the groundwater of the massive.

Table 1. Analysis results of the water samples taken from the channel and Takhtakorpu water reservoir passing from the zone of the experimental area

Number of the section	Mg.eq/g/l							Salt sum, g/l	Dry residue, g/l
	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+k		
N-2 drain (doesn't work)	No	<u>5,20</u> 0,317	<u>90,8</u> 3,178	<u>13,49</u> 0,648	<u>10,5</u> 0,21	<u>88,5</u> 1,062	<u>10,49</u> 0,242	5,75	5,97
N-3 TWR Irrigation canal	No	<u>3,20</u> 0,195	<u>1,60</u> 0,056	<u>3,997</u> 0,192	<u>3,00</u> 0,06	<u>4,50</u> 0,054	<u>1,297</u> 0,029	0,58	0,71
N-2 soil H=1.80	No	<u>8,00</u> 0,488	<u>9,40</u> 0,329	<u>13,99</u> 0,672	<u>2,50</u> 0,050	<u>4,25</u> 0,051	<u>24,64</u> 0,566	2,16	2,16

As it is seen from the table, CO₃ ion wasn't observed in the water sample taken from the drain. A quantity of HCO₃ in anion composition was 0.317g/l, a quantity of Cl was 3.178g/l, a quantity of SO₄ ion was 0.648g/l. A quantity of a Ca in cation content was 0.219g/l. The water mineralization in the drain (for dry residue) was 5.75g/l.

A quantity of HCO₃ ion in anion content in the water sample taken from the water reservoir of Takhtakorpu was 0.195g/l, a quantity of Cl was 0.060g/l, but an amount of SO₄ ion was 0.192 g/l. An amount of Ca in cation content was 0.060g/l, a quantity of Mg was 0.054g/l, but a quantity of Na+k ion changed by 0.029g/l. Mineralization (for dry residue) was 0.58g/l in water sample taken from the water reservoir of Takhtakorpu

Table 2. Assessment of water for mineralization rate

Number of the section	Names of the samples	Mineralization of water, g/l	Usefulness for irrigation
1	N-2 drain (doesn't work)	5.75	Completely useless
2	N-3 TWR Irrigation canal	0.58	useful
3	N-2 soil H=1.80	2.16	Less useful

HCO₃ ion is 1.60g/l, Cl-0.488g/l, SO₄ ion is 0,329g/l in anion content of the water sample taken from section 2 (depth H=1.80m), in the channel of the Takhtakorpu Water reservoir. In cation

content a quantity of Ca is 0,050g/l, Mg-0,051g/l, Na +K ion is 0,566g/l. Mineralization (for dry residue) is 2,16g/l in the water sample taken from channel of the Takhtakorpu Water reservoir.

It was determined that the water samples taken in the research period are useful for irrigation.

If SAR<10 the water is considered completely suitable for use, if SAR=10-18 it is suitable, if SAR>26 it is considered unsuitable for use. As it is seen from Table 2, the water in the drain is dangerous for irrigation 5,75g/l; it is suitable in the Water reservoir of Takhtakorpu (0,58); it is less suitable in the water sample taken from the soil section (2,16).

The salt type was determined in the same samples according to V.R.Volobuyev's [1] classification. The salt type according to Cl/SO₄ ratio in the drain is chlorine, but it is chlorine-sulphate in the water sample taken from Takhtakorpu Water reservoir (Table 3).

Table 3. Definition of the salt type salt type for Cl:SO₄ in the drain, in the water of the Takhtakorpu Water Reservoir and section

Sections	Cl:SO ₄	Salt type
Drain	4.90	Chlorine
Takhtakorpu Water Reservoir	0.90	Chlorine- sulphate
Section 2	0.48	Chlorine-sulphate

4. Conclusion. As a result of the researches it was determined that the water mineralization in the Siyazan-Sumqayit massif was 5.75 g/l in the drain, 0.58g/l in the channel and 2.16g/l in the soil section.

The result indicated that it was dangerous and less suitable for irrigation according to usefulness. The salt type is chlorine in the drain, but chlorine-sulphate in the channel and soil section.

Reference:

1. **Abbasova R.Y.** (2009) Methods providing reversibility of the salinization process in natural salt solonchak of the Siyazan-Sumgayit massif. Baku, 46.
2. **Abduyev M.R.** (2012) Salinized soil of deluvial form and its amelioration issues. Baku, "Elm"pub, 19.
3. **Akperov I.Y.** (1989) Optimization of the water-salt regime in the irrigated soil of the Siyazan-Sumgayit massif. Diss. In cand. Agricult.sci. Baku.
4. **Arinushkina E.B.** (1970) Guide to chemical analysis of soil. Pub. Of Moscow University, 389-403
5. **Azizov G.Z.** (2002) Classification of saline soils in Azerbaijan according to the degree and type of salinization. Baku, 7
6. **Babayev M.P., Hasanov V.H., Yafarova Ch.M., Huseynova S.M.** (2012) Morphogenetic diagnostics, nomenclature and classification of Azerbaijan soil. Baku, "Elm"pub., 209-212.
7. **Ismayilov B.N.** (2010) Impact of irrigation on dynamic of the soil processes in the meadow-grey soil of the Samur-Davachi massif. Works collection of Soil Scientists Society of Azerbaijan. Baku, "Elm"pub, 157-169.
8. **Ismayilov J.M., Pashayev N.E.** (2019) Agricultural plants grown in the irrigated soil of the Siyazan-Sumqayit massif and their productivity. Works collection of Soil Scientists Society of Azerbaijan. Baku, "Elm"pub., 334.
9. **Mammadov G.Sh.** (2007) Bases of Soil Science and soil geography. Baku, "Elm"pub, 588-592.
10. **Mustafayev M.G., Mustafayeva N.Z.** (2018) Modern state of the Siyazan-Sumgayit massive soils. Journal of Soil Science and Agrochemistry. No. 1 (March), Kazakhstan, 47-54.
11. **Suleymanov N.R., Abbasova R.Y., Alizade N.B., Zargarova Sh.Sh., Rahimova Z.N., Hanifazade R.R.** (2015) Definition of hydrothermal potential limits of the takyr-like grey-cinnamonic soil. Soil Science and agrochemistry, 22 (№ 1-2), Baku, 391.
12. **Suleymanov N.P., Abbasova P.Y.** (2009) Landscape-adapted soil-ecological method of assimilation of the natural solonchak in the Siyazan-Sumgayit massif. Works collection of Soil Scientist' Society of Azerbaijan. XVIII vol. Elm, 238-244.

Наукове видання

ТЕХНІКА БУДІВНИЦТВА

Збірник наукових праць

Випуск 2(39)

Підписано до друку

Умовн. друк. арк. 14

Формат 60×84 1/8

Обл.-вид. арк. 12.5

Папір офсетний. Друк різогр.

Тираж 100. Зам. №

Адреса редакції: 02000, м.Київ, проспект Повітрофлотський, 31, кім. 603б.
тел. +38 044 241-55-48, e-mail: motp@knuba.edu.ua