

УДК 621.926.2

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.1-38.0201>**Микола Ручинський,**

доктор філософії в галузі технічних наук,
професор кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9362-292X>
E-mail: ruchynskyi.mm@knuba.edu.ua

Борис Корнійчук,

доктор філософії в галузі технічних наук,
доцент кафедри Професійної Освіти,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3881-1581>
E-mail: korniichuk.bv@knuba.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОУДАРНОГО РЕЖИМУ ВИРОБНИЦТВА ФУНДАМЕНТНИХ БЛОКІВ

АНОТАЦІЯ. Запропонована конструкція віброустановки для формування фундаментних блоків в ударно-вібраційному режимі роботи із розпалубкою та зніманням готового виробу після завершення процесу його ущільнення. Розкриті закономірності руху віброударних установок з урахуванням впливу динамічних параметрів суміші із висотою виробу 0,6 м та отримані аналітичні залежності для забезпечення стабілізації динамічних параметрів вібромашини, яка працює в резонансному режимі з цілеспрямованим врахуванням внутрішніх коливальних властивостей вібросистеми. Визначена розрахункова та математична модель установки. Складені рівняння руху та досліджені зони стійкості. Розроблено алгоритм та методика розрахунку основних параметрів ударно-вібраційної установки. Сформульовано основні положення для створення віброударних машин для формування фундаментних блоків. Отримано числові значення динамічних параметрів робочого органу і середовища, які можна використовувати при проектуванні подібних віброударних систем.

Ключові слова: ударно-вібраційна установка, фундаментний блок, математична модель, рівняння руху, параметри, амплітуда, частота коливань, зона стійкості, методика.

RESEARCH AND DETERMINATION OF BASIC PARAMETERS OF VIBROSHOCK MODE OF PRODUCTION OF FUNDAMENTAL BLOCKS

ABSTRACT. The construction of vibrofluidizer shaping of fundamental blocks is offered in shock-oscillation office hours with formwork and removal of the finished product after completion of process of his compression. The regularities of the movement of vibro-impact units, taking into account the influence of the dynamic parameters of the mixture with a product height of 0.6 m, were revealed, and analytical dependencies were obtained to ensure the stabilization of the dynamic parameters of the vibrating machine, which works in the resonance mode with purposeful consideration of the internal oscillatory properties of the vibrating system. The calculation and mathematical model of setting is certain. Worked out equations of motion and the areas of stability are investigational. An algorithm and method of calculation of basic parameters of the shock-oscillation setting is developed. The main provisions for the creation of vibro-impact machines for the formation of foundation blocks have been formulated. Numerical values of the dynamic parameters of the working body and the environment were obtained, which can be used in the design of similar vibro-impact systems.

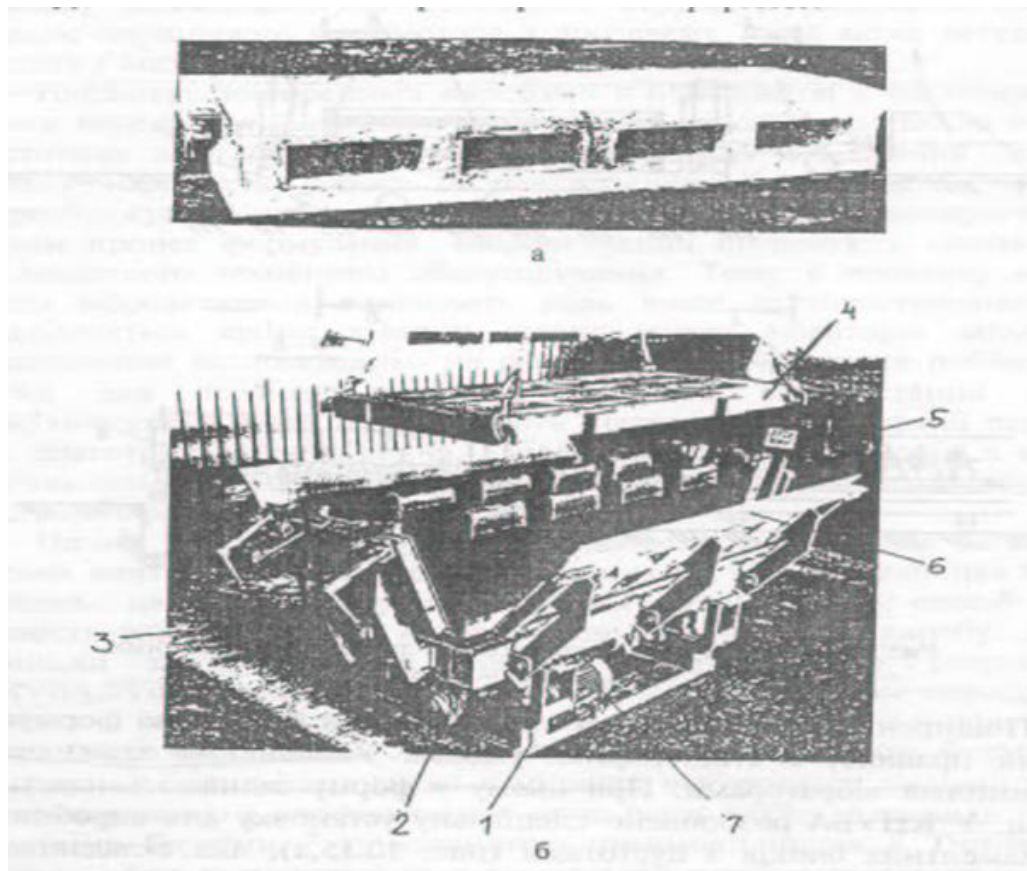
Keywords: shock-oscillation setting, fundamental block, mathematical model, equalization of motion, parameters, frequency of vibrations, area of stability, method.

1. Постановка проблеми. Поширеними в будівництві є фундаментні блоки, які формуються, як правило, в стаціонарних формах та гармонійним режимом ущільнення бетонної суміші. Така технологія характеризується низькою продуктивністю, недостатньою якістю готових виробів, наявністю каверн, значними витратами часу для отримання необхідної міцності готового виробу. Тому пошук нових конструктивних та технологічних параметрів та режимів ущільнення є задачею актуальною. В роботі висувається ідея застосування ударно-вібраційного режиму роботи із розробкою установки.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи формування просторових конструкцій, в тому числі і фундаментних блоків, здійснюються на вібраційних майданчиках [1] або в стаціонарних віброформах [2]. Теоретичною базою таких установок є застосування гармонійних коливань із резонансним режимом роботи [3]. Такі вібраційні установки характеризуються значними енергетичними витратами [4], складністю конструктивних елементів вібромашин. В роботі [5] запропоновано нову конструкцію, дослідженню якої і призначена дана робота.

3. Мета роботи. Визначення основних параметрів та режимів роботи ударно-вібраційної установки для формування фундаментних блоків.

4. Матеріали та методи. Спеціальна установка для виробництва фундаментних блоків з пустотами (рис. 1, а), яка складається із блочного ударно-вібраційного майданчика (рис. 1, б), що має два кінематично незв'язаних блоки 2. Блоки спираються на опорну раму 1. Привод вібраторів блоків здійснюється від двох електродвигунів через клинопасову передачу. Для забезпечення ударно-вібраційного режиму роботи на поверхні блоків закріплено прокладки, на яких встановлюється основа з закріпленими на ній поздовжніми 6 і поперечними 3 бортами й пустоотворювачами 5.



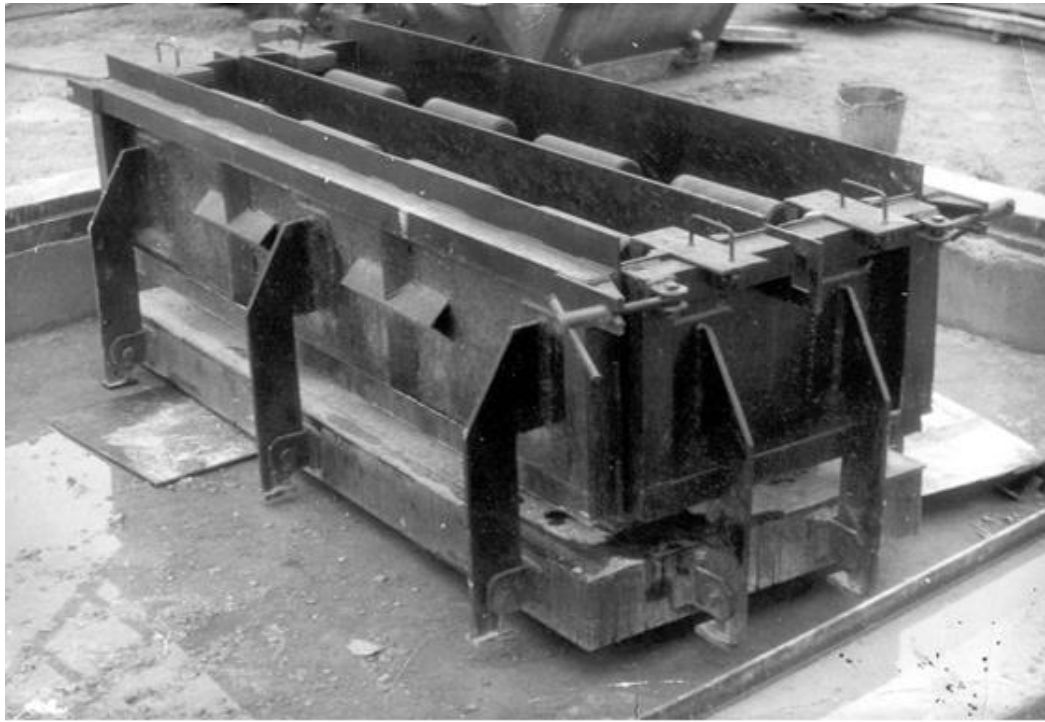


Рис.1. Фундаментний блок (а), конструкція блочного ударно-вібраційного майданчика (б) та його загальний вигляд у зібраному стані (в)
 Fig. 1. The foundation block (a), the structure of the block shock-vibration platform (b) and its general appearance in the assembled state (c)

На основі встановлюється піддон 4, який має отвори для проходження пустотоутворювачів. Борти скріплюються спеціальними замками. Для відокремлення блоків, що формуються, встановлюється перегородка. На поперечних бортах закріплені пазоутворювачі і наби з кришками для утворення порожнини для проходження гака крана та фіксації арматурних петель. Щоб запобігти сповзанню форми з вібромайданчика, передбачені пружні зв'язки між опорною рамою та формою.

Процес формування блоків полягає в такому. На основу з відкритими бортами встановлюється піддон. Потім закривають борти і фіксують їх замками. Перегородка краном вводиться до прорізу у поперечних бортах і ділить форму на два відсіки, забезпечуючи, таким чином, одночасне формування двох блоків. Форму змащують емульсією, до неї вкладають арматурні петлі і фіксують кришками. У форму укладається бетонна суміш, і вмикається привод вібромайданчика. Після закінчення операції ущільнення, яка триває 30...40 с, краном із форми витягується перегородка. Потім відкриваються замки, викидаються кришки і розкриваються борти (рис.1,в). Піддон із свіжовідформованими виробами краном переноситься до камери температурно-вологої обробки.

Розрахункову схему блочного ударно-вібраційного майданчика із урахуванням форми і бетонної суміші можна розглядати як двомасову систему (рис.2).

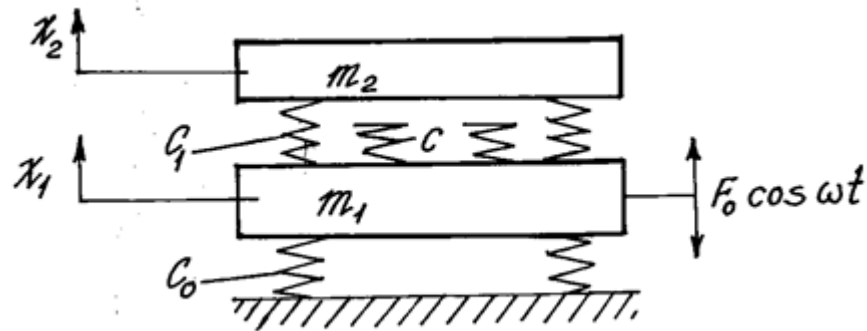


Рис. 2. Розрахункова схема блочного ударно-вібраційного майданчика
 Fig. 2. Calculation scheme of the block shock-vibration platform

5. Результати. Для обґрунтування математичної моделі приймаються наступні допущення:

- перша маса моделює інерційні властивості машини і є абсолютно жорстким тілом;
- жорсткості пружних опор вібромашини та пружного зв'язку між формою і робочим органом лінійні, тобто підкоряються закону Гука;
- вплив бетонної суміші на рух вібромашини враховується на основі розгляду її системою з розподіленими параметрами, які в рівняннях дискретно представлені через контактну силу взаємодії робочого органа і середовища;
- дисипативні властивості системи використовуються на етапах уточнення основних параметрів та визначення меж змін критеріїв, чітке значення яких забезпечує стійкий віброударний режим руху.

За таких передумов та припущень рівняння руху мають вид :

$$\text{при } \Delta > x: \begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_0 + c_1) x_1 - c_1 x_2 = F_0 \cos \omega t; \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_1 x_2 - c_1 x_1 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{при } \Delta < x: \begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_0 + c_1 + c) x_1 - (c_1 + c) x_2 = F_0 \cos \omega t; \\ m_2 \ddot{x}_2 + (c_1 + c) x_2 - (c_1 + c) x_1 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

де Δ - зазор між ударником і верхньою масою. Отримані рівняння (1) і (2) можна дещо спростити, якщо врахувати умови роботи вібромашини ($c_0 \ll c$) і очевидний зв'язок, що $x = x_1 - x_2$. Приймаючи ці положення, отримаємо дещо змінену систему рівнянь:

$$\text{при } x < 0: \ddot{x} + c_1 \times \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) x = - \frac{F_0 \cos \omega t}{m_1}; \quad (3)$$

$$\text{при } x > 0: \ddot{x} + (c_1 + c) \times \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) x = - \frac{F_0 \cos \omega t}{m_1}. \quad (4)$$

Із наведених рівнянь (3) і (4) слідує, що переміщення x залежить від семи параметрів, тобто $x = f(F_0, m_1, m_2, c_1, c, \omega, t)$. Число змінних параметрів можна зменшити, якщо ввести нові безрозмірні параметри час τ та координату η :

$$\tau = \omega t; \quad \eta_1 = \frac{m_2 \times \omega^2 \times x_1}{F_0}; \quad \eta_2 = \frac{m_2 \times \omega^2 \times x_2}{F_0}; \quad (5)$$

$$\eta = \eta_1 - \eta_2; \quad \alpha = \frac{m_1}{m_2}.$$

При використанні (5) для перетворення рівнянь (3) і (4) будемо враховувати, що $(\ddot{x}_i)_t = \omega^2 \times (\ddot{x}_i)_\tau$. Тоді після виконання відповідних перетворень отримаємо нову систему рівнянь.

$$\ddot{\eta} + \xi_1^2 \times \eta = -q + \cos \tau; \quad \eta > 0; \quad (6)$$

$$\ddot{\eta} + \xi_2^2 \times \eta = -q + \cos \tau; \quad \eta \leq 0;$$

де

$$\xi_1^2 = \frac{c_1}{m_{\text{пр}} \times \omega^2}; \quad \xi_2^2 = \frac{c_1 + c}{m_{\text{пр}} \times \omega^2}; \quad q = \frac{m_2 \times g}{F_0} \times \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1} \right). \quad (7)$$

$m_{\text{пр}}$ - приведена маса вібромашини:

$$m_{\text{пр}} = \frac{m_1 \times m_2}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

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 (7). Визначимо раціональну область стійкості і час контакту для наступних вихідних даних: $m = 10^4 \text{ кг}; \omega = 157 \text{ 1/с}; c_1 = 7 \times 10^7 \text{ Н/М}$. Із (6) знайдемо, що коефіцієнт $\xi = \frac{7 \times 10^7}{10^4 \times 157^2} = 0,071$; час контакту $\tau_2 = \tau = \frac{1}{25 \times 16} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ с}$. Щоб потрапити в першу зону стійкості руху, потрібно взяти $q < 1$, тобто при даних значеннях параметрів m, ω, c_1 будемо мати

$$-\frac{\pi c_2}{4 \cdot 10^4 n^2 \cdot 157^2 \sin(4n\pi)} < 1, \quad (9)$$

Звідки отримаємо, що $c_2 < 1,56 \times 10^8 \text{ Н/М}$. якщо ж $c > 1,56 \times 10^8 \text{ Н/М}$, то попадаємо в зону нестійкості, де і спостерігається параметричний резонанс на бажаній частоті коливань. Відмітимо, що наступна (друга) зона стійкості появляється при значенні $c_2 \approx 7,5 \times 1,56 \times 10^8 \text{ Н/М} = 1,17 \times 10^9 \text{ Н/М}$.

6. Висновки. Рішенням рівнянь (1–5) були виявлені зони стійкого режиму коливань.

Встановлено, що існують стійкі режими руху із різними значеннями періодів T . Виявлено, що для частот коливань у межах $100..160 \text{ с}^{-1}$ найбільш ефективним є співвідношення $\tau_k/T = 0,25..0,31$.

Встановлено, що при $\xi \geq 1,7$ є можливість отримати стійкий режим із значенням критерію $q = 2,5$ з мінімальними витратами енергії на коливання системи. Отримані результати використані для розробки алгоритму розрахунку віброустановки для формування фундаментних блоків.

Проведений аналіз поведінки реальних динамічних систем в полі статичного та динамічного навантаження, засвідчує необхідність врахування напружено-деформованого стану металлоконструкцій та врахування його в математичних моделях.

Запропонована методологія та методи дослідження складних систем під дією статичного та динамічного навантаження.

Список використаних джерел:

1. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-е видання) / І.І. Назаренко. Київ: Видавничий дім «Слово», 2010. – 440с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Назаренко І.І., Човнюк Ю.В., Ручинський М.М. Моделирование и расчет присоединенной массы формируемого изделия в управляемых виброударных системах строительного производства: влияние формы импульса/ Назаренко І.І., Човнюк Ю.В., Ручинський М.М. // Прогрессивные технологии и машины для производства стройматериалов, изделий и конструкций. Сб. научн. трудов НАН Украины "Физико-технические и технологические приложения математического моделирования, К., 1998, с. 183-186.
8. Назаренко І.І. Определение сил сопротивлений бетонной смеси при колебаниях виброплощадки. - В сб.: "Горные, дорожные, строительные машины", Київ, Техніка, 1973, №16 - с. 129-135.
9. Нестеренко Н.П. Разработка й внедрение унифицированного ряда низкочастотных виброплощадок с повышенной технологической зффективностью. Дис. канд. техн. наук. - Полтава, Полт. ИСИ, 1992, - 205 с.
10. Искович-Лотоцкий Р.Д., Матвеев Ё.Б., Крат В.А. Машины вибрационного и виброударного действия. - Киев, Техника, 1982. - 208 с.

References:

1. Nazarenko I. Applied problems of the theory of vibration systems (2nd edition) / I.I. Nazarenko. Kyiv: "Slovo" Publishing House, 2010. - 440 p.
2. 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.
3. 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.
4. Nazarenko I.I. Theoretical studies of the working process of an impact-vibration installation with determination of the laws off motion an the stresses in a layer of concrete mixture compacted under kinematic excitation of vibrations / I.I. Nazarenko, М.М. Nesterenko, S.M. Zhigilii, T.M. Nesterenko // Scientiific bulletin of construction: coll. Of science pr. – Kh.: Khnuba, 2016. – No.4 (86). – P. 172 – 176.

5. Ruchyskyy 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.
6. Nazarenko I., Ruchyskyy M. Theoretical studies of the dynamics of machines for forming foundation blocks / Nazarenko, I. Ruchyskyy 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.
7. Nazarenko, I., Chovnyik Y., Ruchyskyy M. Modeling and calculation of the added mass of a molded product in controlled vibro-Impact systems of construction production: influence of the pulse shape / Nazarenko, I., Chovnyik Y., Ruchyskyy M. // Progressive technologies and machines for the production of building materials, products and structures.. Sat. scientific Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine "Physico-technical and technological applications of mathematical modeling, K., 1998, p. 183-186.
8. Nazarenko, I. Determination of the resistance forces of the concrete mix during vibrations of the vibrating platform. - Collection «Mining, construction and reclamation machines», Kyiv, 1973, №16 - p. 129-135.
9. Nesterenko N.. Development and implementation of a unified range of low-frequency vibration platforms with increased technological efficiency. Dis. cand. tech. Sciences. - Poltava, Polt. ISI, 1992, - 205 p.
10. Iskovych-Lotockyy R., Matveev I., Krat V Machines of vibration and vibroimpact action. - Kyiv, Technique, 1982. - 208 p.