

5. Гольдштейн Б.Г. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона / Б.Г. Гольдштейн, Л.П. Петрунькин. – М.: Машиностроение, 1966. – 169 с.
6. Овчинников П.Ф. Виброреология. / П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка, 1983. – 272 с.
7. Сивко В. И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси / В. И. Сивко. – К.: Высш. шк., 1987. – 168 с.
8. Нестеренко М.П. Дослідження математичної моделі коливань вібраційної установки для формування залізобетонних виробів у режимі холостого ходу / М.П. Нестеренко, Д.С. Педь, Т.М. Нестеренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА-ХОТВ АБУ, 2016. – № 86 (4). – С. 181–185.
9. Молчанов П.О. Вивчення коливань активного робочого органа вібраційної касетної установки та їх динамічних характеристик / П.О. Молчанов, М.П. Нестеренко, В.М. Чередніков // Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава: ПолтНТУ, 2013. – № 36 (1), т. 2. – С. 27–38.
10. Назаренко І.І. Методика досліджень загальної динамічної моделі «технологічна машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище» / І.І. Назаренко, М.П. Нестеренко // Техніка будівництва. К.: КНУБА-АБУ, 2015. – № 34. – С. 4–11.

Рецензент: д-р техн. наук І.А. Смельянова

УДК 666.97.033

**Нестеренко М.М., Нестеренко Т.М., Магас Н.М.**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ**

**Вступ.** Наведені у працях [1–2] данні свідчать про потребу енергоефективної реконструкції житлових будинків в Україні. Дві третини житлового фонду України побудовано до 70-х років минулого століття, огорожувальні конструкції якого спроектовані і побудовані без урахування енергоефективності, що призводить до надмірних втрат тепла та порушення температурно-вологісного режиму в приміщеннях і викликають прискорене руйнування несучих конструкцій. Підвищення рівня енергоефективності будівель, відповідно до європейських норм, в останні роки стало одним із основних напрямків розвитку будівельної індустрії.

Сучасний ринок утеплювачів насичений штучними матеріалами, які широко розрекламовані як найкращі рішення. Але основна перевага штучних матеріалів – простота їх встановлення. Нажаль, дуже часто вони є небезпечними для здоров'я і довкілля. Головною перевагою природних матеріалів перед штучними, звісно, є їх

безпека для здоров'я та природи. Але крім неї є і практична вигода: більшість природних матеріалів, на відміну від штучних, стійкі до багаторазового намокання/висихання. Наприклад, змокла мінеральна вата назавжди зменшується в об'ємі. Природні утеплювачі здатні добре виводити вологу з приміщення, тому не доведеться думати про додаткову вентиляцію [3].

Серед можливих варіантів теплоізоляційних матеріалів, на нашу думку, які найкращим чином підходять для нових стінових конструкцій та утеплення існуючих є полістиролбетон, керамзитобетон і арболіт. Утеплення стін може здійснюватися як шляхом облаштування зовнішньої сайдинг-опалубки та монолічення, так і теплоізоляційними панелями з зовнішнім облицюванням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для створення теплоізоляційних панелей із полістиролбетону, керамзитобетону та арболіту потрібно підібрати або

створити обладнання, яке буде відповідати режимам ущільнення легкобетонних виробів. Серед відомих способів ущільнення бетонних сумішей найбільшого поширення набуло вібраційне ущільнення бетонних сумішей. За різними даними, цим способом формують близько 80% всієї кількості бетонних виробів.

Досить ефективними для ущільнення легкобетонних сумішей є вібраційні машини з ударно-вібраційним ефектом. Вони ефективні при формуванні цілої низки легкобетонних виробів і мають ряд переваг, які, насамперед, полягають у можливості ефективного формування виробів із жорстких бетонних сумішей при негайному знятті опалубки, що сприяє підвищенню продуктивності виробництва, зменшує металомісткість оснащення за рахунок скорочення обороту форм та знижує витрати енергії при термообробці.

Ударні установки для формування виробів методом «шок-бетон» отримали широке розповсюдження в США, Швеції, Фінляндії, Німеччині, Голландії [4].

В Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка розроблені площадки ударної дії типу УВУ [5], конструктивні схеми яких наведені на рис. 1 для формування панелей із арболітової бетонної суміші марок М50 і М75. Але в роботах [5, 6] не наведена методика розрахунку ударно-вібраційних установок для виготовлення виробів із легких бетонів.

**Мета і задачі досліджень.** Метою є уточнення методики розрахунку ударно-вібраційних установок для виготовлення виробів із легких бетонів для енергоефективної реконструкції будівель.

**Результати досліджень.** Методика розрахунку установки полягає у визначенні наступних параметрів: маса відформованого виробу, коефіцієнт пружності опори, коефіцієнт пружності обмежника

коливань, енергія при ущільненні, енергія в обмежниках коливань, енергія на тертя. Аналітичні залежності для визначення вище перерахованих параметрів наведено в табл. 1.

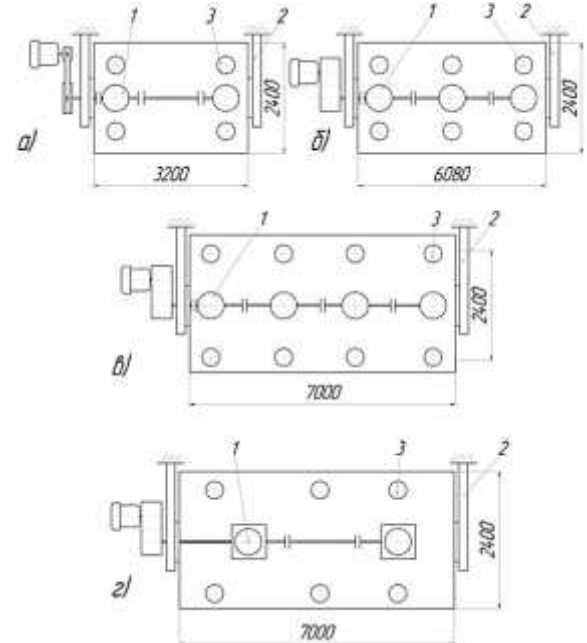


Рис. 1. Конструктивні схеми ударно-струшуючих установок

1 – кулачковий механізм; 2 – ресора; 3 – пружні прокладки.

а – УВУ- 6, б – УВУ - 8, в – УВУ - 12, г – УВУ- 15

Для прикладу виконаємо розрахунок ударно-вібраційної установки (рис. 2) за наступними вихідними даними: густина бетонної суміші  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ , площа плити  $S = 0,48 \text{ м}^2$ ; висота виробу  $h = 0,2 \text{ м}$ ; частота  $\omega = 24 \text{ с}^{-1}$ ; швидкість розповсюдження хвиль  $c = 28 \text{ м/с}$ ; коефіцієнт опору  $\gamma = 0,15$ ; час удару  $\tau = 0,006 \text{ с}$ ; маса форми  $m_{\phi} = 46 \text{ кг}$ ; модуль пружності гуми  $E = 4.81 \text{ МПа}$ ; коефіцієнт поглинання  $\psi = 0,5$ ; радіус зовнішнього кільця підшипника  $R = 45 \text{ мм}$ ; коефіцієнт тертя кочення  $k = 0,05 - 0,08 \text{ мм}$ . Результати розрахунку зводимо у табл. 2.

Таблиця 1 – Методика розрахунку ударно-вібраційної установки

№ п/п	Назва параметра	Аналітична залежність
1	2	3
1.	Маса виробу, що формується	$m_c = \rho \cdot S \cdot h \cdot \left( a_1 + a_1^* \frac{\tau_{y0}}{T} \right),$ <p>де <math>\rho</math> – густина бетонної суміші, кг/м<sup>3</sup>; <math>S</math> – площа, м<sup>2</sup>; <math>h</math> – висота виробу, м; <math>a_1</math> – хвильовий коефіцієнт:</p> $a_1 = \frac{\alpha \cdot sh2\alpha h + \beta \cdot \sin 2\beta h}{h(\alpha^2 + \beta^2)(ch2\alpha h + \cos 2\beta h)},$ $\alpha_n = \frac{\omega}{c_{xв}} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2} - 1}{2(1+\gamma^2)}};$ $\beta_n = \frac{\omega}{c_{xв}} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2} + 1}{2(1+\gamma^2)}},$ <p>де <math>h</math> – висота виробу; <math>\omega</math> – частота; <math>c_{xв}</math> – швидкість розповсюдження хвиль; <math>\gamma</math> – коефіцієнт опору (<math>\gamma \approx 0,1 \dots 0,2</math>); <math>\tau</math> – час удару (час контакту); <math>T</math> – період; <math>a_1^* \approx a_1</math> на частоті <math>\omega/2</math>.</p>
2.	Коефіцієнт пружності опори	$C_o = \frac{SE_{on}}{h} = \frac{GE_{on}}{\sigma h},$ <p>де <math>S</math> – площа опори, м<sup>2</sup>; <math>E</math> – модуль пружності опори, Н/м<sup>2</sup>; <math>G</math> – вага коливальної маси, кг; <math>h</math> – висота опори, м; <math>s</math> – питоме навантаження на опори.</p>
3.	Коефіцієнт пружності обмежника коливань	$C_{\sigma} = \xi \cdot m \cdot n^2 \omega^2,$ <p>де <math>\xi</math> – коефіцієнт, що характеризує відношення власної частоти до вимушеної частоти; <math>n</math> – номер гармоніки, <math>n = 1 \dots 9</math>; <math>1.3 \leq \xi \leq 1.8</math>.</p> $C_{\sigma} = \frac{m \cdot (1 + R)}{t_{y0}^2 (1 - R)},$ <p>де <math>R</math> – коефіцієнт відновлення при ударі.</p>
4.	Коефіцієнт опору	$b_0 = \rho \cdot S \cdot h \cdot \left( \omega d_1 + \frac{\omega^*}{2} \cdot d_1^* \cdot \frac{t_{y0}}{T} \right),$ <p>де <math>d_1 = \frac{\alpha \sin 2\beta h - \beta sh2\alpha h}{h(\alpha^2 + \beta^2)(ch2\alpha h + \cos 2\beta h)}</math>; <math>d_1^* \approx d_1</math> на частоті <math>\omega/2</math>.</p>
5.	Енергія системи	$E = E_{yц} + E_{об} + E_{тер}$
5.1.	Енергія при ущільненні	$E_{yц} = \pi m_c x_0^2 \omega^3 d_1,$ <p>де <math>x_0</math> – напіврозмах коливань.</p>
5.2.	Енергія в обмежниках коливань	$E_{об} = \frac{\psi}{4\pi} C_{\sigma} \delta^2 \omega,$ <p>де <math>\delta</math> – деформація обмежника коливань;</p> $\delta = 2x_0 \left( 1 - ctg \frac{\xi \tau}{2} \right).$
5.3.	Енергія на тертя	$E_{тер} = M_{тер} \cdot \omega,$ <p>де <math>M_{тер}</math> – момент сил тертя;</p> $M_{тер} = F_{тер} \cdot R,$ <p>де <math>F_{тер}</math> – сила тертя; <math>R</math> – радіус підшипника.</p>

Таблиця 2 – Результати розрахунку ударно-вібраційної установки

№ п/п	Назва параметра	Позначення, одиниці виміру	Значення
1.	Маса виробу, що формується	$m_c$ , кг	92,72
2.	Коефіцієнт пружності опори	$C_o$ , Н/м	$97,9 \cdot 10^3$
3.	Висота та радіус перерізу опори	$h_o$ , м $R_o$ , м	0,01 0,04
4.	Коефіцієнт пружності обмежника коливань	$C_{\delta}$ , Н/м	$400,3 \cdot 10^3$
5.	Висота та радіус перерізу обмежника коливань	$h_{o.k.}$ , м $R_{o.k.}$ , м	0,01 0,08
6.	Коефіцієнт опору	$b_0$ , кг/с	25,84
7.	Енергія системи	$E$ , Вт	868,44
8.	Енергія при ущільненні	$E_{ущ}$ , Вт	508,5
9.	Енергія в обмежниках коливань	$E_{об}$ , Вт	55,3
10.	Енергія на тертя	$E_{тер}$ , Вт	304,64



Рис. 2. Ударно-вібраційна установка

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Запропонована мето-

дика дозволяє розраховувати основні параметри ударно-вібраційної установки, в залежності від складу легкобетонної суміші та геометричних параметрів готових виробів, що в свою чергу, дає змогу розширити номенклатуру готових легкобетонних виробів для утеплення та реконструкції будівель.

На основі розробленої методики розрахований і виготовлений промисловий зразок ударно-вібраційної установки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Інфраструктурна пастка, або Чому Україна приречена [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [http://www.epravda.com.ua/publications/2010/01/4/223007/view\\_print/](http://www.epravda.com.ua/publications/2010/01/4/223007/view_print/).
2. Проблеми житлово-комунального сектора в Україні [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.osbbua.org/2010/07/problems-zhytlovo-komun>.
3. Учасники тренінгу з теплоізоляції утеплюють власні будинки екологічно та дешево! [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://ecoclubrivne.org>
4. Горобцов М.Н. Вибрационная техника строительной индустрии: обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1979.– 52 с.
5. Орисенко О.В. Розроблення конструкції ударно-струшувальної установки для формування стінових блоків із легких бетонів на основі аналізу конструктивних особливостей ущільнюючих машин / О.В. Орисенко, М.М. Нестеренко // Збірник наукових праць: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2009 – Вип. 3(25). – С. 150-155.
6. Орисенко А.В. Конструкция ударно-встряивающей установки для формования стеновых блоков из легких бетонов на основе анализа конструктивных особенностей уплотняющих машин / А.В. Орисенко, Н.Н. Нестеренко // Материалы Международной научно-практической конференции 2010г. Г. Волгоград: в2-х ч. Ч.1: ВолгГАСУ, 2011.– С. 227-233.

Рецензент: д-р техн. наук І.А. Смелянова