

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

СКЛЯРЕНКО ТАРАС ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 666.97.033.16

**РОЗРОБЛЕННЯ ВІБРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ**

05.05.02 – Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кременчук – 2013

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Нестеренко Микола Петрович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри будівельних машин та обладнання імені Олександра Онищенка.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Іткін Олександр Феліксович, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри конструювання машин та технологічного обладнання;

кандидат технічних наук, доцент
Свідерський Анатолій Тофілійович, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри механізації будівельних процесів.

Захист дисертації відбудеться **«14» травня 2013 р.,** о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 45.052.03 при Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського за адресою: 39600, Україна, Полтавська обл., м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20, аудиторія 2311.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського за адресою: 39600, Україна, Полтавська обл., м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20

Автореферат розісланий «8» квітня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради К 45.052.03



В. М. Чабенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Малогабаритні залізобетонні вироби, зокрема, поребрики, бордюрні камені, тротуарна плитка та ін. здебільшого виготовляються шляхом вібраційного формування. Існуюче формувальне обладнання з вертикальними коливаннями типу СМЖ для виготовлення таких виробів матеріалоемне, енергоємне і не завжди забезпечує їхню якість.

Найбільш поширені вібраційні площадки з просторовими коливаннями типів ВПГ і ВПГ-2 достатньо технологічні, мають низьку енергоємність, але їх не доцільно при цьому використовувати через те, що їхня питома матеріалоемність та енергоємність значно зростає при формуванні малогабаритних виробів з невеликою масою. Крім цього, через специфіку просторових коливань рухомої рами віброплощадки навколо центру мас коливальної системи, розподіл амплітуд вертикальних коливань по поверхні рухомої рами нерівномірний – зростає від нульового значення у центрі до максимальних значень біля її країв.

Тому вібраційні площадки з просторовими коливаннями приймаємо за основу для розроблення установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів за умови підвищення її ефективності за рахунок зменшення маси її рухомих частин та забезпечення рівномірного розподілу вертикальних амплітуд коливань по її поверхні. Отже, розв'язання цього питання слід уважати актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Робота виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри будівельних машин і обладнання імені Олександра Онищенка Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, та госп. договором № 0209/12.

Мета та задачі досліджень. Мета роботи полягає у розробці та дослідженні установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів з віброзбуджувачем, вісь обертання якого нахилена до вертикалі, а його вимушуюча сила направлена на центр ваги коливальної системи, яка складається з рухомої частини установки та оброблюваної бетонної суміші. Досягнення мети відбувається при вирішенні таких задач:

- проведення огляду та аналізу досліджень і досягнень в даній галузі;
- розроблення та дослідження лабораторного зразка вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів;
- створення математичної моделі вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів у холостому та робочому режимах;
- дослідження розподілу амплітуд по робочій поверхні вібраційної установки в залежності від нахилу осі дебалансного вала та віддалення по горизонталі віброзбуджувача колових коливань від центра ваги коливальної системи за допомогою математичної моделі;
- аналіз вібраційних параметрів коливань точок вібраційної форми та обґрунтування ефективності ущільнення відформованих виробів;
- експериментальна перевірка теоретичних результатів досліджень динамічних параметрів установки, дослідження якості формування готових виробів;
- розроблення методики розрахунку вібраційної установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів;
- розробка промислового зразка вібраційної установки;

– впровадження результатів досліджень у виробництво.

Об'єкт дослідження – процес формування малогабаритних залізобетонних виробів.

Предмет дослідження – вібраційна установка для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів.

Методи дослідження: дослідження базуються на застосуванні класичної теорії коливань, на аналітичних методах моделювання руху робочого органа та статистичної обробки результатів експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

– вперше розроблена математична модель вібраційної установки для касетного формування малогабаритних залізобетонних виробів просторовими коливаннями;

– вперше встановлено закономірності руху віброплощадки з просторовими коливаннями для касетного формування малогабаритних виробів в залежності від амплітуди та кутової частоти коливань, маси віброплощадки, форми виробів та фізико-механічних характеристик бетонної суміші;

– науково обґрунтовані раціональні параметри вібраційної установки для формування бетонних і залізобетонних виробів у касетній формі.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблена методологія розрахунку віброплощадки для касетного формування малогабаритних залізобетонних виробів. Запропонована методика дозволяє:

– розв'язувати задачі пов'язані з проектуванням нового вібраційного обладнання;

– раціоналізувати конструктивні рішення пов'язані зі зменшенням енергоємності та матеріалоємності даного типу вібраційних установок.

Розроблена методика розрахунку віброплощадки для касетного формування малогабаритних залізобетонних виробів. Надані практичні рекомендації щодо розрахунків параметрів вібраційних установок.

Результати досліджень використані в курсовому й дипломному проектуванні, висвітлюються при читанні лекцій і проведенні практичних занять з дисциплін «машини для виробництва будівельних матеріалів» для студентів напряму освіти 6.050503 «машинобудування» та «будівельна техніка» для студентів напряму освіти 6.060101 «будівництво».

Результати дослідження впроваджені на підприємствах: ПП. «Будекспрес» м. Кобеляки, ТОВ «Колос ЛТД» м. Дніпродзержинськ, ВАТ «Комбінат виробничих підприємств» с. Терешки Полтавської області. Підтверджено актами про створення та впровадження у виробництво установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що:

– Запропонована фізико-механічна модель, яка задовольняє мету опису поведінки динамічної системи «Віброплощадка – ущільнювана суміш» [1, 5];

– Складені рівняння руху установки в режимі холостого ходу [2];

– Розроблена методика та отримані результати експериментальних досліджень параметрів вібраційної установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів [3,10];

- Запропоновано конструктивні особливості установки [8,14,15,18];
- Запропоновано виступ, накритий ковпаком для приєднання рухомої рами [16,17];
- Виявлено залежність деформації опори від товщини її стінки [6,7];
- Запропоновано частину математичних викладок [4,9,11,12,13].

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 63-ій - 64-ій наукових конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (м. Полтава, 2011-2012 рр.); на міжнародній конференції «Нові досягнення в галузі проектування і експлуатації підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин» м. Харків.

Достовірність результатів дослідження підтверджується значним обсягом експериментальних досліджень і результатами порівняння теоретичних значень з експериментальними. Значення амплітуд вібропереміщень точок, що визначені експериментально різняться з теоретичними на холостому ходу в межах 10-12%, в робочому режимі 8-10%, що задовольняє поставлені умови.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 18-ти наукових працях, у т.ч. 11 публікацій у фахових виданнях.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел та трьох додатків. Її зміст викладено на 154 сторінках, з яких 145 сторінок основного тексту, 9 сторінок списку використаних літературних джерел із 88 найменувань. Основна частина дисертації містить 37 рисунків і 23 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета та задачі досліджень, висвітлені наукова новизна отриманих результатів, їх практична цінність і рівень апробації.

У першому розділі проведено огляд та аналіз літератури з питань ефективності існуючого формувального обладнання.

Вдосконаленню конструкцій обладнання для формування залізобетонний виробів сприяли роботи таких видатних вчених, як: Маслова О.Г., Назаренка І.І., Нестеренка М.П., Олехновича К.О., Сівка В.Й., Ємельяненко Н.Г., Ємельянової І.А., Іткіна О.Ф., Сердюка Л.І., Свідерського А.Т., Саєнка Л.В., Десова А.Є., Шмигальського В.Н. та інших.

В даний час в практиці будівництва широко використовуються малогабаритні бетонні і залізобетонні вироби. Найпоширеніші малогабаритні бетонні вироби: тротуарна і декоративна плитка, стовпчики єврозаборів, бордюри, поребрики, бетонні блоки, елементи добору збірних бетонних конструкцій і так далі. Серед них найбільш затребуваними є поребрики, інколи звані дорожньо-бортовими каменями, які покликані розділяти між собою різні функціональні частини дорожніх покриттів. Також поребрики запобігають розмиттю узбіч і служать упором для тротуарних плиток.

Інерційні віброплощинки з вертикально направленими коливаннями забезпечують ефективне формування бетонних і залізобетонних виробів з жорстких цементобетонних сумішей, але досить енергоємні і складні по конструкції, що

робить їх не доцільними для формування малогабаритних бетонних виробів. Віброплощадки з низькочастотними горизонтально направленими коливаннями прості по конструкції, менш енергоємні, але існуючі конструкції забезпечують формування виробів в основному лише з пластичних цементобетонних сумішей. Доведено, що досить ефективним при формуванні бетонних виробів є використання вібраційних машин, що генерують багатокомпонентні вібрації: двохчастотні і полічастотні. Проте, через складність полічастотних віброплощадок, що використовуються в основному для формування великогабаритних бетонних виробів, їх також не доцільно використовувати для формування малогабаритних бетонних виробів. У той час залишається відкритим питання про використання різноспрямованої вібраційної дії на ущільнюване середовище. Не вирішено питання обґрунтування режимів і напряму вібраційної дії при формуванні малогабаритних бетонних виробів.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження спроектованої установки, та проаналізовано результати.

Для обґрунтування раціональних параметрів розглянуто рух запропонованої віброплощадки в режимі **холостого ходу** (Рис.1) Переміщення елементів даної динамічної системи під дією вібробуджувача кругових коливань можна представити у вигляді прямолінійних коливань у напрямку координатних осей X, Y, Z і кутових коливань відносно цих же координатних осей. При цьому рух рухомої рами разом з формою можна описати наступною системою рівнянь:

$$m \frac{d^2 z_1}{dt^2} + b_1 \frac{dz_1}{dt} + c_1 z_1 = Q_z \sin \omega t; \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 y_1}{dt^2} + b_2 \frac{dy_1}{dt} + c_2 y_1 = Q_y \sin \omega t; \quad (2)$$

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_3 \frac{dx_1}{dt} + c_3 x_1 = Q \cos \omega t; \quad (3)$$

$$J_x \frac{d^2 \psi_x}{dt^2} + n_1 \frac{d\psi_x}{dt} + k_1 \psi_x = (Q_z R_y + Q_y R_z) \sin \omega t; \quad (4)$$

$$J_y \frac{d^2 \psi_y}{dt^2} + n_2 \frac{d\psi_y}{dt} + k_2 \psi_y = Q R_z \cos \omega t; \quad (5)$$

$$J_z \frac{d^2 \psi_z}{dt^2} + n_3 \frac{d\psi_z}{dt} + k_3 \psi_z = Q R_y \cos \omega t, \quad (6)$$

де m – маса частини віброплощадки, що коливається; Q – амплітуда вимушуючої сили вібробуджувача кругових коливань; Q_z – вертикальна складова амплітуди вимушуючої сили вібробуджувача кругових коливань $Q_z = Q \cos \alpha$; α – кут нахилу опорної підвібраторної плити; Q_y – вертикальна складова амплітуди вимушуючої сили вібробуджувача кругових коливань $Q_y = Q \sin \alpha$; x_1, y_1, z_1 – лінійні переміщення рухомої рами у напрямку координатних осей X, Y і Z під дією

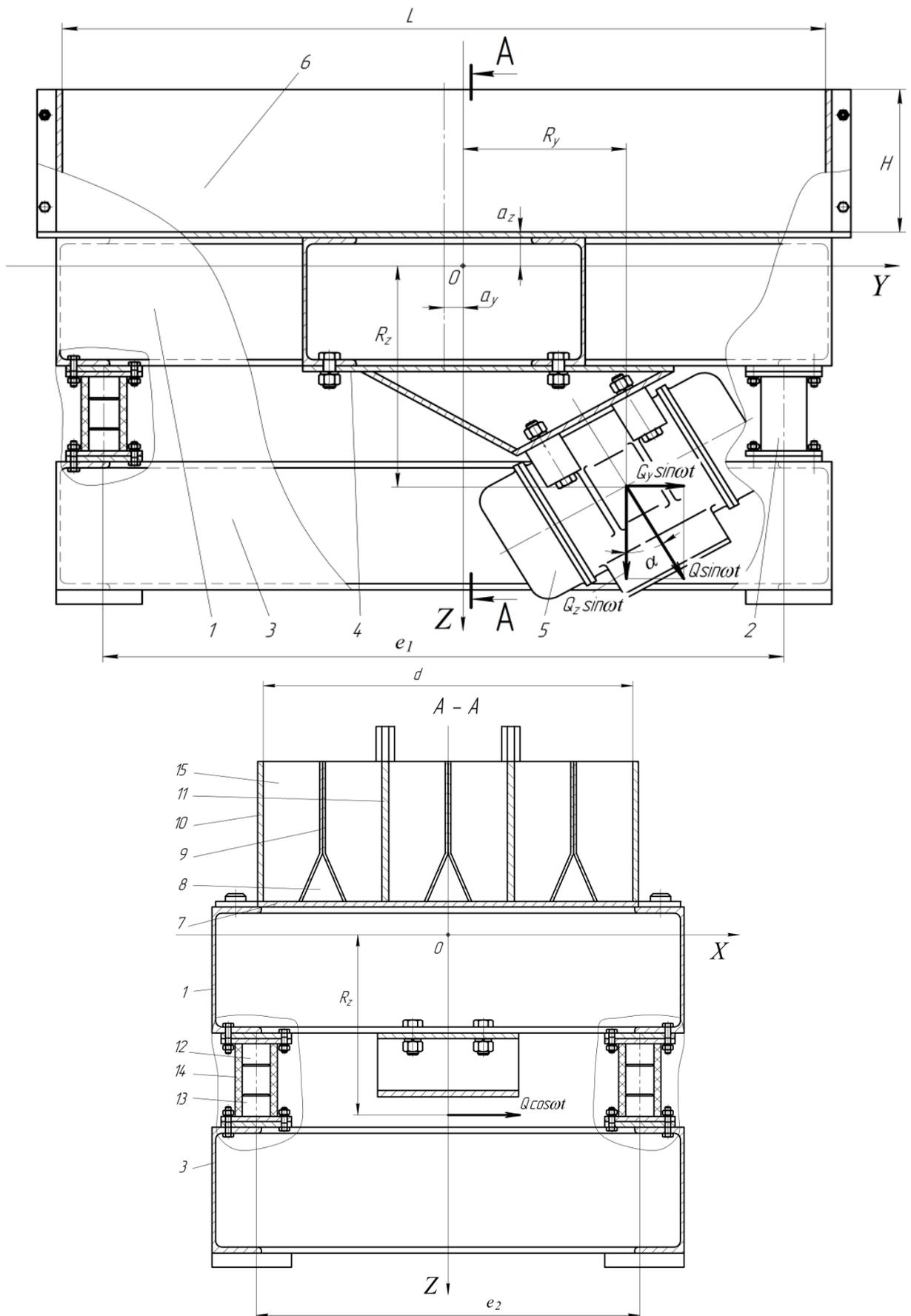


Рисунок 1 – Розрахункова схема вібраційної установки для формування бетонних виробів

гармонійних вимушуючих сил $Q \cos \omega t$, $Q_y \sin \omega t$ і $Q_z \sin \omega t$ відповідно; X , Y і Z – координатні осі, що проходять через центр мас рухомої частини віброплощинки, що коливається; c_1 – жорсткість і b_1 – коефіцієнт непружного опору амортизаторів у вертикальному напрямку; c_2 – жорсткість і b_2 – коефіцієнт непружного опору амортизаторів у напрямі координатної осі Y ; ψ_x , ψ_y , ψ_z – кутові переміщення рухомої рами відносно координатних осей відповідно X , Y і Z ; J_x , J_y і J_z – моменти інерції рухомої частини віброплощинки, що коливається, відносно координатних осей відповідно X , Y та Z ; k_1 і n_1 – коефіцієнти пружної жорсткості і непружного опору амортизаторів при кутових переміщеннях системи, що коливається, відносно координатної осі X ;

Вирішення отриманої системи рівнянь (1 – 6) для стаціонарних коливань, що описують встановлений рух даної динамічної системи в режимі холостого ходу, можна представити в наступному вигляді:

$$z_1(t) = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1); y_1(t) = A_2 \sin(\omega t - \varphi_2); x_1(t) = A_3 \cos(\omega t + \varphi_3); \quad (7)$$

$$\psi_x(t) = \Psi_x \sin(\omega t - \xi_1); \psi_y(t) = \Psi_y \cos(\omega t + \xi_2); \psi_z(t) = \Psi_z \cos(\omega t + \xi_3), \quad (8)$$

де, $A_1 = \frac{Q \cos \alpha}{m \sqrt{(p_{01}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_1^2 \omega^2}}$, $A_2 = \frac{Q \sin \alpha}{m \sqrt{(p_{02}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_2^2 \omega^2}}$, $A_3 = \frac{Q}{m \sqrt{(p_{03}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_3^2 \omega^2}}$ –

амплітуди гармонійних коливань у напрямку координатних осей Z , Y і X

відповідно; $\Psi_x = \frac{Q(R_y \cos \alpha + R_z \sin \alpha)}{J_x \sqrt{(p_{011}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{11}^2 \omega^2}}$, $\Psi_y = \frac{QR_z}{J_y \sqrt{(p_{021}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{21}^2 \omega^2}}$,

$\Psi_z = \frac{QR_y}{J_z \sqrt{(p_{031}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{31}^2 \omega^2}}$ – амплітуди кутових (крутильних) гармонійних

коливань відносно координатних осей X , Y і Z відповідно; $\varphi_1 = \arctg \frac{2\delta_1 \omega}{p_{01}^2 - \omega^2}$,

$\varphi_2 = \arctg \frac{2\delta_2 \omega}{p_{02}^2 - \omega^2}$, $\varphi_3 = \arctg \frac{2\delta_3 \omega}{p_{03}^2 - \omega^2}$ – кути зсуву фаз між амплітудами

вимушуючих сил і амплітудами вимушених коливань; $\xi_1 = \arctg \frac{2\delta_{11} \omega}{p_{011}^2 - \omega^2}$,

$\xi_2 = \arctg \frac{2\delta_{21} \omega}{p_{021}^2 - \omega^2}$, $\xi_3 = \arctg \frac{2\delta_{31} \omega}{p_{031}^2 - \omega^2}$ – кути зсуву фаз між амплітудами

моментів вимушуючих сил і амплітудами кутових вимушених коливань.

Для опису установки **в робочому режимі** розглянемо розрахункову схему на рисунку 2. При цьому рух рухомої рами разом з формою, завантаженою бетонною сумішшю, можна представити у вигляді наступної системи рівнянь:

$$(m + m_{np1}) \frac{d^2 z_2}{dt^2} + (b_1 + b_z) \frac{dz_2}{dt} + c_1 z_2 = Q_z \sin \omega t; \quad (9)$$

$$(m + m_{np21}) \frac{d^2 y_2}{dt^2} + b_2 \frac{dy_2}{dt} + c_2 y_2 = Q_y \sin \omega t; \quad (10)$$

$$(m + m_{np22}) \frac{d^2 x_2}{dt^2} + b_3 \frac{dx_2}{dt} + c_3 x_2 = Q \cos \omega t; \quad (11)$$

$$(J_{x1} + J_{bx}) \frac{d^2 \psi_{x1}}{dt^2} + (n_1 + n_{bx}) \frac{d\psi_{x1}}{dt} + k_1 \psi_{x1} = (Q_z R_{y1} + Q_y R_{z1}) \sin \omega t; \quad (12)$$

$$(J_{y1} + J_{by}) \frac{d^2 \psi_{y1}}{dt^2} + (n_2 + n_{by}) \frac{d\psi_{y1}}{dt} + k_2 \psi_{y1} = QR_{z1} \cos \omega t; \quad (13)$$

$$(J_{z1} + J_{bz}) \frac{d^2 \psi_{z1}}{dt^2} + n_3 \frac{d\psi_{z1}}{dt} + k_3 \psi_{z1} = QR_{y1} \cos \omega t, \quad (14)$$

де x_2, y_2, z_2 – лінійні переміщення рухомої рами у напрямку координатних осей X_1, Y_1 і Z_1 під дією гармонійних вимушуючих сил $Q \cos \omega t, Q_y \sin \omega t$ і $Q_z \sin \omega t$ відповідно; X_1, Y_1 і Z_1 – координатні осі, що проходять через спільний центр мас рухомої частини віброплощинки і формованого виробу.

Розв'язок отриманої системи рівнянь (9...14) для стаціонарних коливань, що описують сталий рух даної динамічної системи в робочому режимі, можна представити в наступному вигляді:

$$z_2(t) = A_{12} \sin(\omega t - \varphi_{12}); y_2(t) = A_{22} \sin(\omega t - \varphi_{22}); x_2(t) = A_{32} \cos(\omega t + \varphi_{32}); \quad (15)$$

$$\psi_{x1}(t) = \Psi_{x1} \sin(\omega t - \xi_{11}); \psi_{y1}(t) = \Psi_{y1} \cos(\omega t + \xi_{21}); \psi_{z1}(t) = \Psi_{z1} \cos(\omega t + \xi_{31}), \quad (16)$$

$$\text{де } A_{12} = \frac{Q \cos \alpha}{(m + m_{np1}) \sqrt{(p_{012}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{12}^2 \omega^2}}, \quad A_{22} = \frac{Q \sin \alpha}{(m + m_{np21}) \sqrt{(p_{022}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{22}^2 \omega^2}},$$

$$A_{32} = \frac{Q}{(m + m_{np22}) \sqrt{(p_{032}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{32}^2 \omega^2}} - \text{амплітуди гармонійних коливань рухомої}$$

рами віброплощинки в робочому режимі у напрямі координатних осей Z_1, Y_1 і X_1

$$\text{відповідно; } \Psi_{x1} = \frac{Q(R_{y1} \cos \alpha + R_{z1} \sin \alpha)}{(J_{x1} + J_{bx}) \sqrt{(p_{0k1}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{k1}^2 \omega^2}}, \quad \Psi_{y1} = \frac{QR_{z1}}{(J_{y1} + J_{by}) \sqrt{(p_{0k2}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{k2}^2 \omega^2}},$$

$$\Psi_{z1} = \frac{QR_{y1}}{(J_{z1} + J_{bz}) \sqrt{(p_{0k3}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_{k3}^2 \omega^2}} - \text{амплітуди кутових (крутильних)}$$

гармонійних коливань рухомої рами у напрямі координатних осей X_1, Y_1 і Z_1

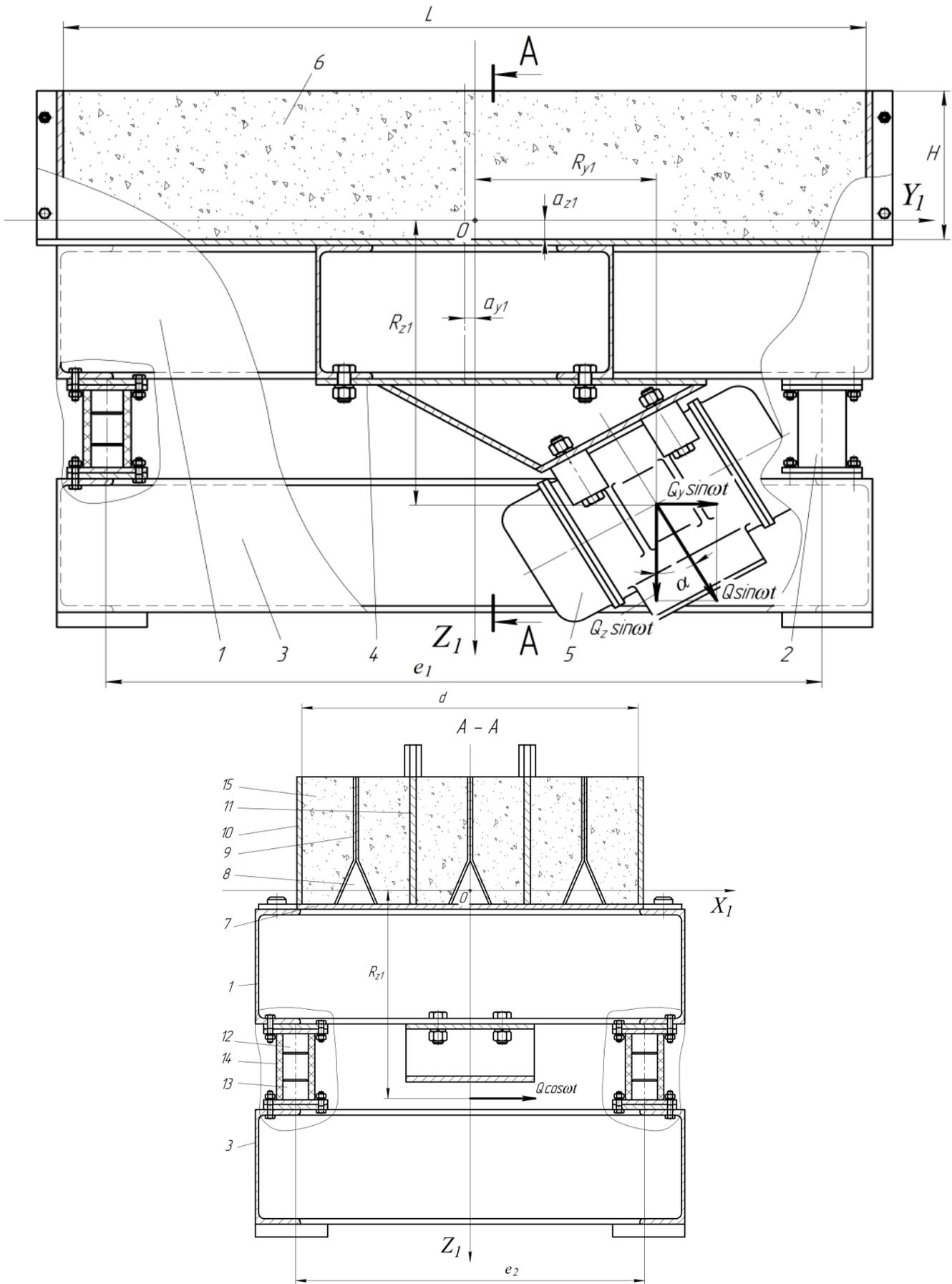


Рисунок 2 – Розрахункова схема динамічної системи «Віброплощадка – ущільнюване середовище»

відповідно; $\varphi_{12} = \arctg \frac{2\delta_{12}\omega}{P_{012}^2 - \omega^2}$, $\varphi_{22} = \arctg \frac{2\delta_{22}\omega}{P_{022}^2 - \omega^2}$, $\varphi_{32} = \arctg \frac{2\delta_{32}\omega}{P_{032}^2 - \omega^2}$ – кути зсуву фаз між амплітудами вимушуючих сил і амплітудами вимушених коливань; $\xi_{11} = \arctg \frac{2\delta_{k1}\omega}{P_{0k1}^2 - \omega^2}$, $\xi_{21} = \arctg \frac{2\delta_{k2}\omega}{P_{0k2}^2 - \omega^2}$, $\xi_{31} = \arctg \frac{2\delta_{k3}\omega}{P_{0k3}^2 - \omega^2}$ – кути зсуву фаз між амплітудами моментів вимушуючих сил і амплітудами кутових вимушених коливань.

Моменти інерції формованого бетонного виробу J_{bx} , J_{by} і J_{bz} відносно координатних осей X_1 , Y_1 і Z_1 , можуть бути визначені з наступних виразів:

$$J_{bx} = \frac{m_{np1}(L^2 + H^2)}{12} + m_{np1}[(0,5H - a_{z1})^2 + a_{y1}^2]; \quad (17)$$

$$J_{by} = \frac{m_{np1}(B^2 + H^2)}{12} + \frac{8,75m_{np1}}{3}(B + \Delta)^2 + m_{np1}a_{y1}^2; \quad (18)$$

$$J_{bz} = \frac{m_{np22}(L^2 + H^2)}{2} + 17,5m_{np22}(B + \Delta)^2, \quad (19)$$

де Δ – товщина вставок форми; m_{np1} – загальна маса формованих виробів; m_{np22} – маса одного формованого виробу (поребрика).

Отримані вирази дозволили обґрунтувати раціональні параметри віброплощинки і попередньо обрати кут та місце встановлення віброзбуджувача коливань та амплітуду вимушуючої сили.

У третьому розділі приведена методика експериментальних досліджень спроектованої установки, та проаналізовано результати.

Основною метою експериментальних досліджень є перевірка результатів теоретичних досліджень щодо розподілу вертикальних складових амплітуд вібропереміщень точок касетної форми в напрямку вертикальної осі Oz та горизонтальних поперечних і поздовжніх складових амплітуд в напрямку осей Ox та Oy . Заплановані дослідження в холостому режимі (без бетонної суміші) та в робочому режимі (із заповненою формою бетонною сумішшю). Бетонна суміш мілкозерниста, рухливістю 3,5 – 4 см.

Перевірку відповідності фактичних параметрів вібрації заданим, виконуємо шляхом безпосередніх замірів у контрольних точках (рис. 3) відповідно до плану проведення експериментів.

Амплітуди вібропереміщень по осі Ox вимірювалися в точках $1x, 2x, \dots 9x$; по осі Oy – $1y, 2y, \dots 9y$; по осі Oz – $1z, 2z, \dots 9z$. Результати порівняння експериментальних і теоретичних даних наведено на рисунках 4 – 9.

Рівномірність ущільнення бетонної суміші у виробі перевірено з використанням неруйнуючих методів контролю однорідності бетону за ДСТУ 18105.0-80. Найпоширеніший метод – ультразвуковий за ДСТУ 17624-78.

Клас бетону відформованих виробів визначався ультразвуковим дослідженням приладом УК-10П).

Таким чином, можна зауважити, що значення амплітуд вібропереміщень точок, що визначені експериментально різняться з теоретичними на холостому ходу в межах 10-12%, в робочому режимі 8-10%, що задовольняє поставлені умови.

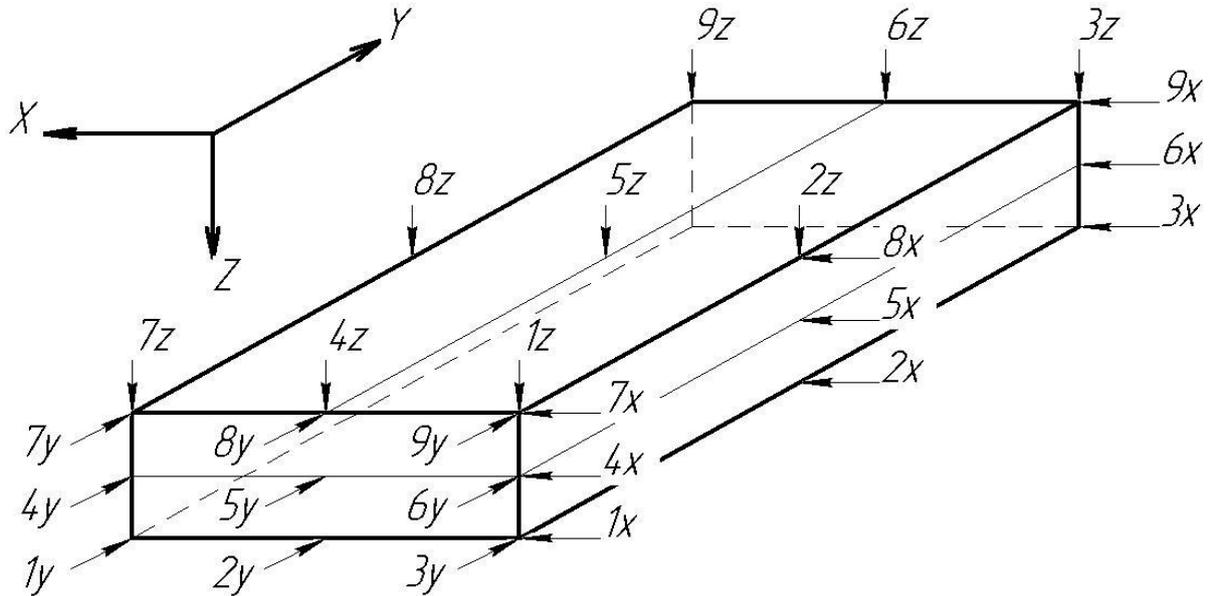


Рисунок 3 – Позичії для дослідження амплітуд вібропереміщень точок вібраційної форми

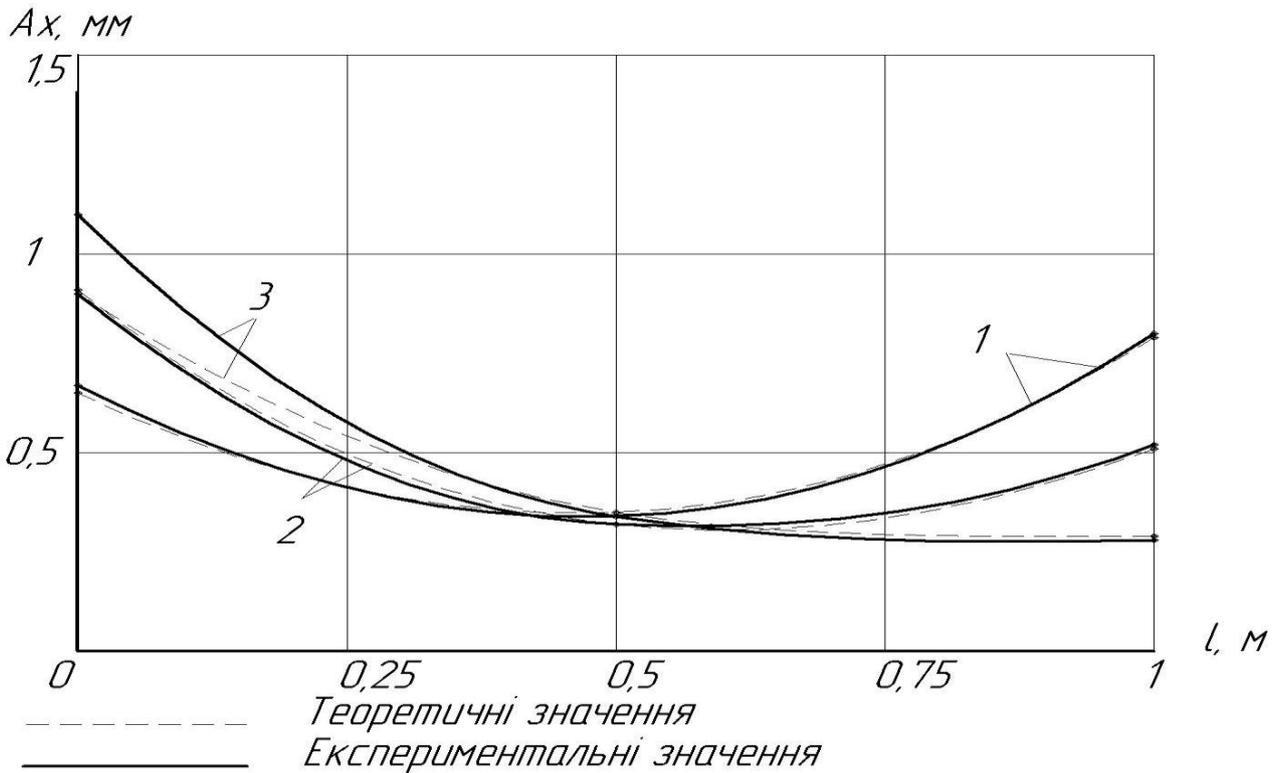


Рисунок 4 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у робочому режимі по осі Ox (1 – в точках $1x, 2x, 3x$; 2 – в точках $4x, 5x, 6x$; 3 – в точках $7x, 8x, 9x$ (рис. 3))

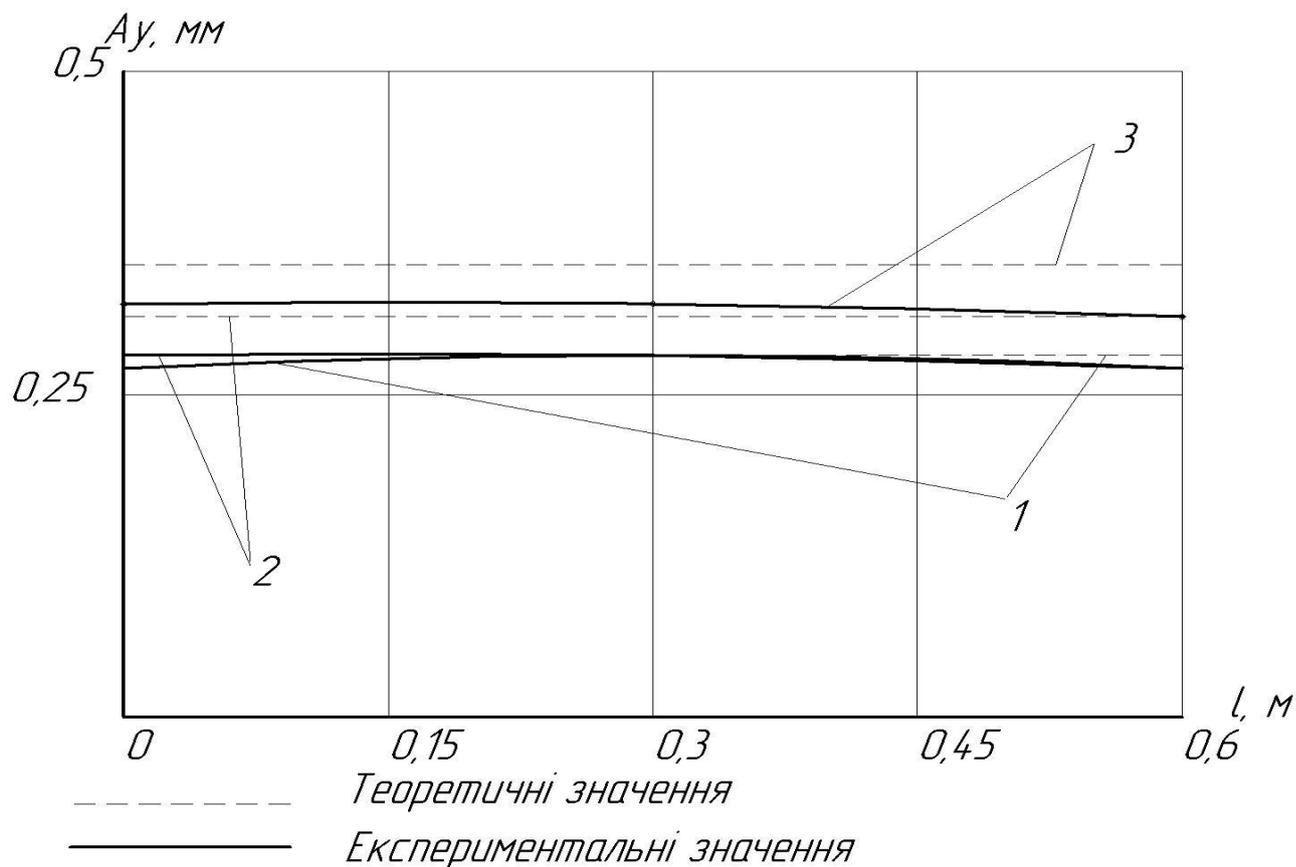


Рисунок 5 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у робочому режимі по осі Oy (1 – в точках 1у, 2у, 3у; 2 – в точках 4у, 5у, 6у; 3 – в точках 7у, 8у, 9у (рис. 3))

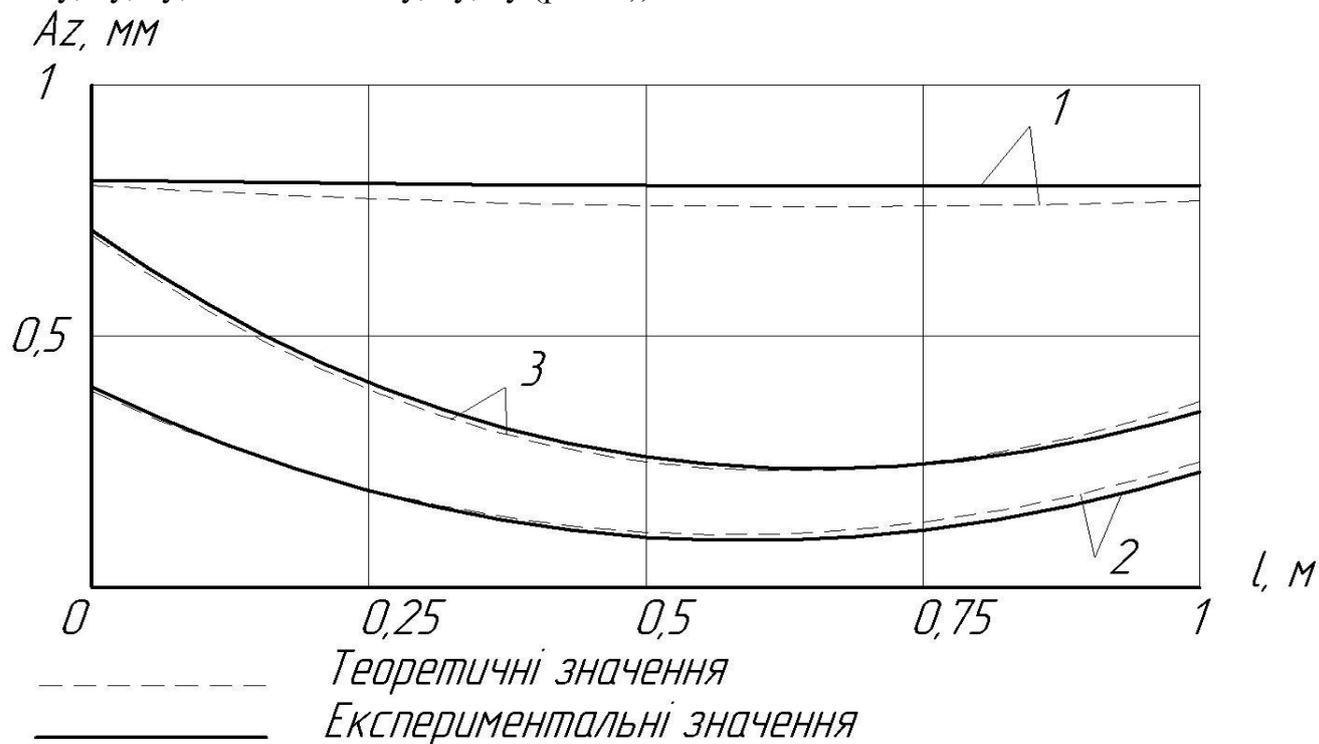


Рисунок 6 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у робочому режимі по осі Oz (1 – в точках 1z, 2z, 3z; 2 – в точках 4z, 5z, 6z; 3 – в точках 7z, 8z, 9z (рис. 3))

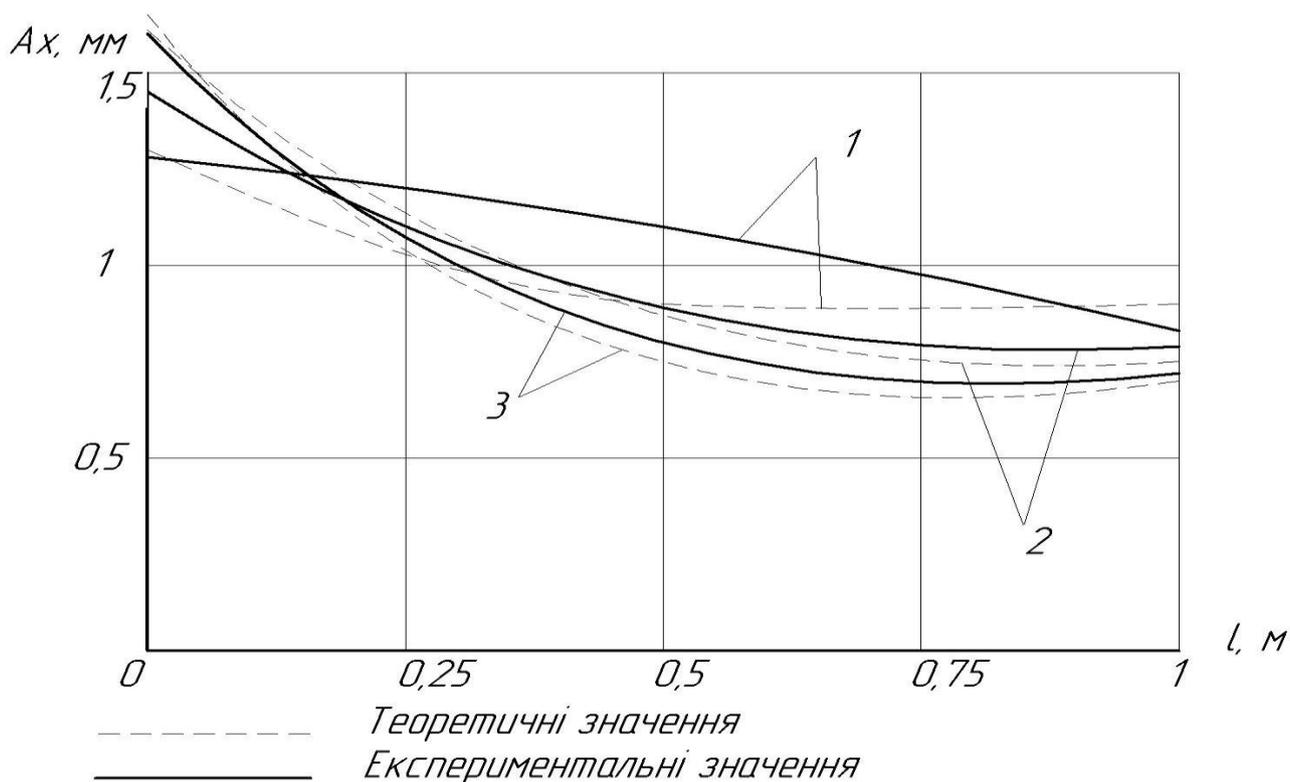


Рисунок 7 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у режимі холостого ходу по осі Ox (1 – в точках 1x, 2x, 3x; 2 – в точках 4x, 5x, 6x; 3 – в точках 7x, 8x, 9x (рис. 5))

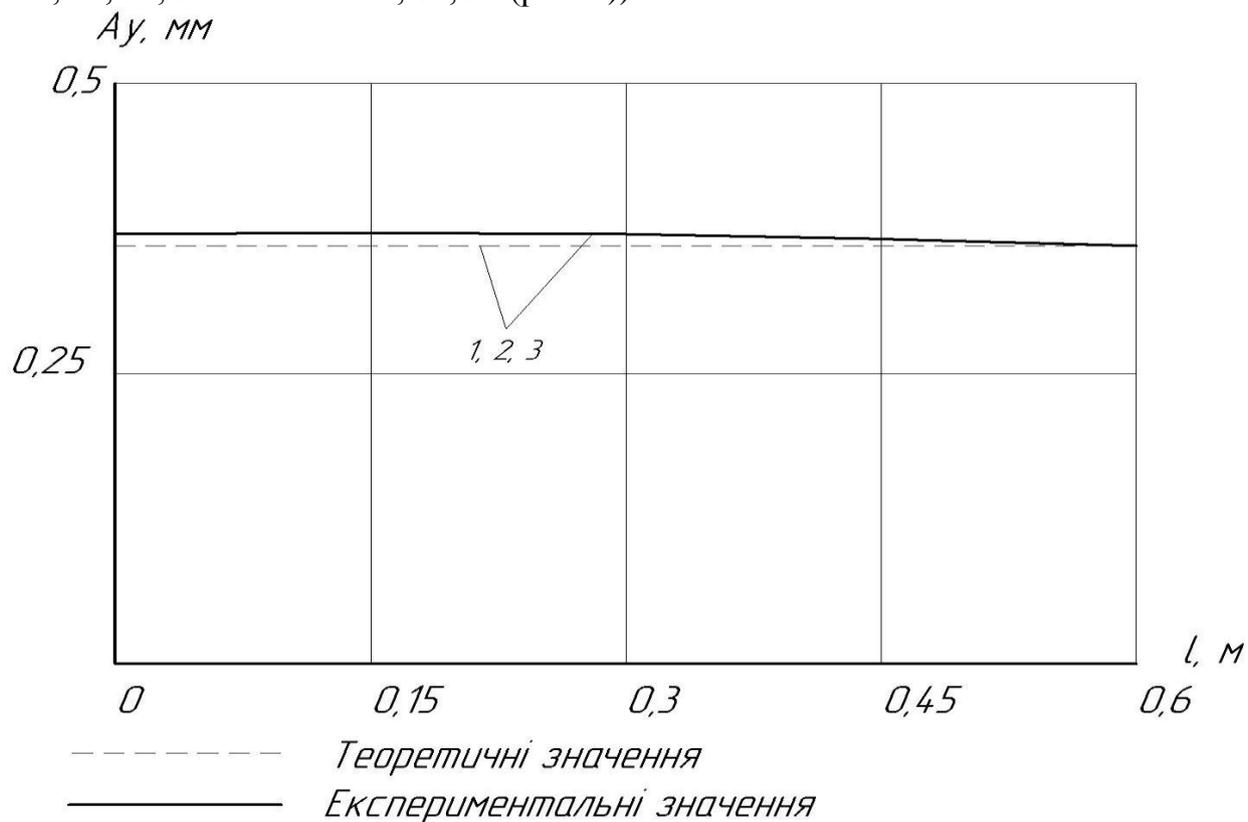


Рисунок 8 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у режимі холостого ходу по осі Oy (1 – в точках 1y, 2y, 3y; 2 – в точках 4y, 5y, 6y; 3 – в точках 7y, 8y, 9y (рис. 3))

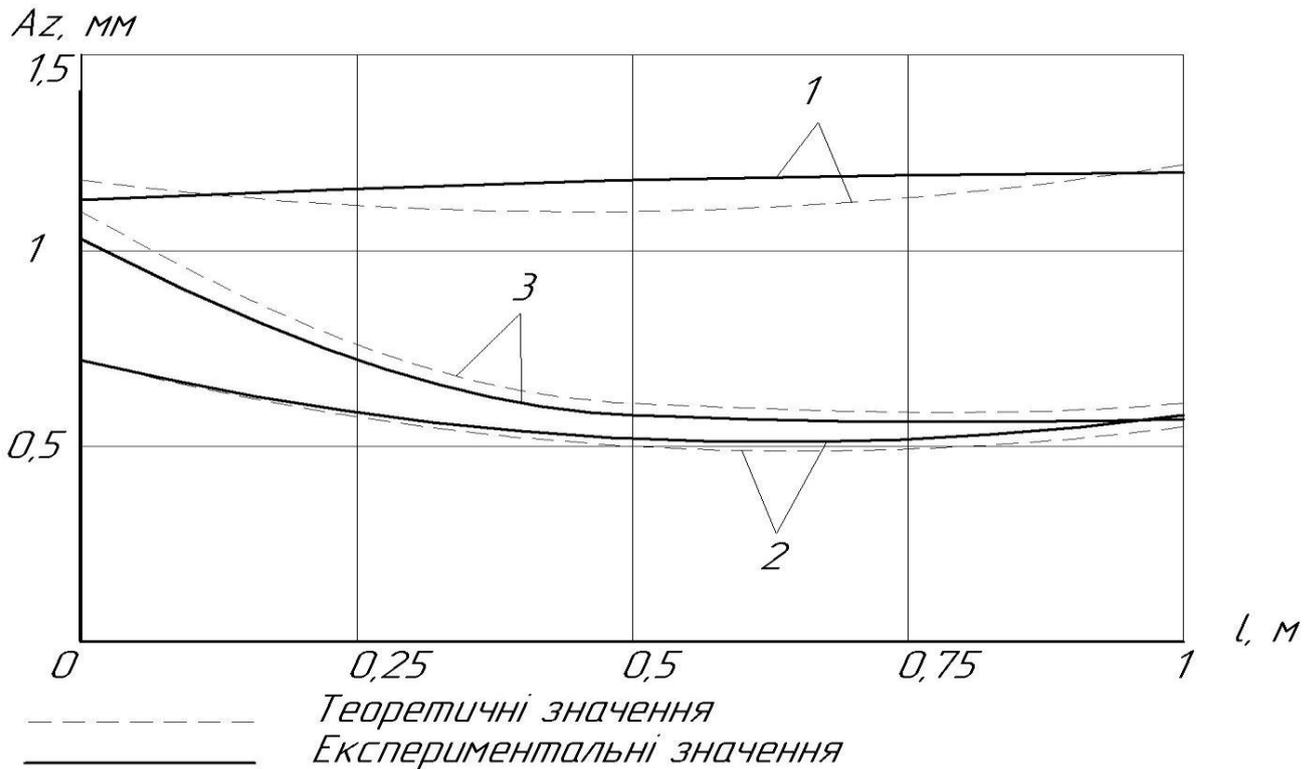


Рисунок 9 – Порівняльний аналіз експериментальних та теоретичних значень амплітуд вібропереміщень у режимі холостого ходу по осі Oz (1 – в точках 1z, 2z, 3z; 2 – в точках 4z, 5z, 6z; 3 – в точках 7z, 8z, 9z (рис. 3))

У четвертому розділі проведено розрахунок і проектування вібраційної установки для виготовлення поребриків у касетній формі.

На рисунках 10, 11 представлено установку для виготовлення бордюрного каменю та поребриків, яка складається з рухомої рами 3, встановленої на віброопори 1. Вібробуджувач 6 кріпиться до підвісаторної плити 4 знизу рухомої рами. Форма 2 установлюється спеціальними кріпильними отворами на відповідні виступи на рухомій рамі 3. Одночасно формується шість виробів. По закінченні процесу ущільнення, форма знімається і замінюється на іншу. Касетна форма за допомогою кріпильних отворів має можливість зміни, або заміни на пласку рухому частину для використання пластикових форм для виготовлення тротуарної плитки.

Форма має зйомні та незйомні перегородки з уклонами для полегшення видалення відформованих виробів після їхнього твердіння.

Виготовлено дослідний зразок запропонованої установки (рис. 10). Експериментальні дослідження роботи вібраційної установки за програмою і методикою проведення випробувань підтвердили її достатню ефективність при формуванні виробів.

Моменти інерції формованого бетонного виробу J_{bx} , J_{by} і J_{bz} відносно координатних осей X_1 , Y_1 і Z_1 , визначені з виразів 20 – 22:

$$J_{bx} = \frac{m_{npl}(L^2 + H^2)}{12} + m_{npl}[(0,5H - a_{z1})^2 + a_{y1}^2] = 17.67; \quad (20)$$



Рисунок 10 – Віброустановка з формою для виготовлення поребриків

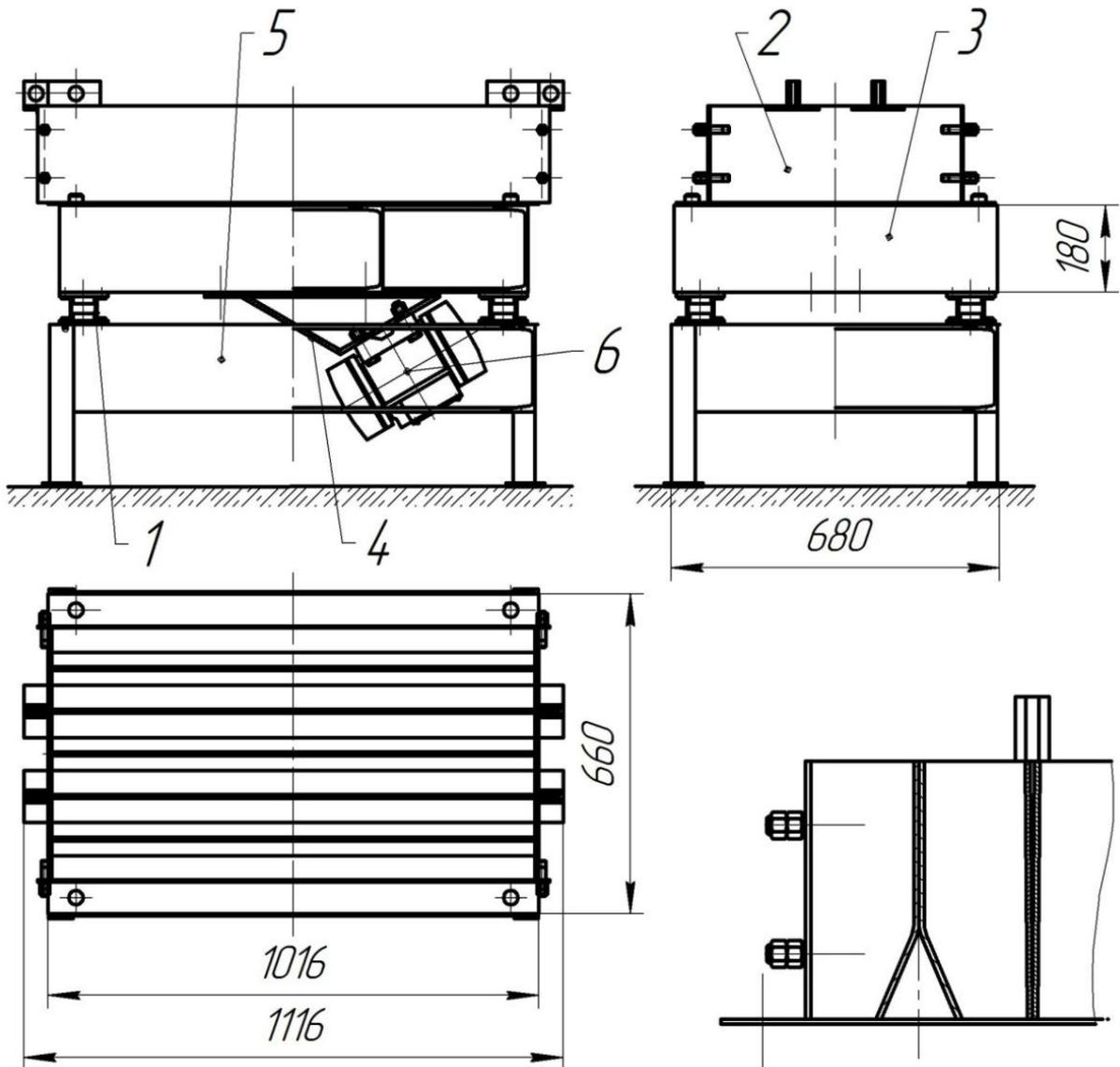


Рисунок 11 – Установка для виготовлення бордюрного каменю та тротуарної плитки. 1 – віброопора, 2 – форма, 3 – рухома рама, 4 – підвібраторна плита, 5 – основа (нерухома рама), 6 – вібророзбуджувач.

$$J_{by} = \frac{m_{np1}(B^2 + H^2)}{12} + \frac{8,75m_{np1}}{3}(B + \Delta)^2 + m_{np1}a_{y1}^2 = 140.91; \quad (21)$$

$$J_{bz} = \frac{m_{np22}(L^2 + H^2)}{2} + 17,5m_{np22}(B + \Delta)^2 = 1394.32, \quad (22)$$

де Δ – товщина вставок форми; m_{np1} – загальна маса формованих виробів; m_{np22} – маса одного формованого виробу (поребрика).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Результати огляду та аналізу досліджень в даній галузі показали, що існуюче обладнання для виробництва малогабаритних залізобетонних виробів не в достатній мірі дозволяє досягти високих вимог якості виробів через невідповідність необхідних вихідних параметрів формування при використанні віброустановок. Це обумовлено тим, що процес формування малогабаритних залізобетонних виробів недостатньо вивчений;

2. Розроблено та досліджено лабораторний зразок вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів;

3. Запропонована фізико-механічна модель, яка задовольняє мету опису поведінки динамічної системи «Віброплощадка – ущільнювана суміш», що враховує взаємодію елементів конструкції форми з ущільнюваною цементобетонною сумішшю в складній динамічній системі у вигляді інерційних сил, що діють з боку оброблюваного цементобетонного шару на вібраційний робочий орган залежно від фізико-механічних характеристик суміші і параметрів вібраційної дії. У тому числі:

- використана аналітична залежність для визначення приведеної маси цементобетонної суміші при дії вертикально направлених коливань, яка враховує хвильові процеси в ущільнюваному шарі суміші, її фізико-механічні характеристики, частоту коливань, консистенцію суміші і товщину оброблюваного шару;

- використана аналітична залежність для визначення приведеної маси цементобетонної суміші при її взаємодії з поперечними стінками форми;

- використана аналітична залежність для визначення приведеної маси цементобетонної суміші при її взаємодії з поздовжніми стінками і вставками форми;

- обчислені приведені моменти інерції ущільнюваних бетонних виробів відносно координатних осей X, Y і Z, що проходять через центр мас системи, що коливається, з врахуванням приведеної маси формованого виробу.

4. Отримані теоретичні вирази, які дозволяють встановити закон руху і амплітуди кутових і прямолінійних коливань рухомої рами і форми з бетонною сумішшю в робочому режимі. Ці залежності досить точно описують поведінку реальної динамічної системи «вібраційна площадка – ущільнюване середовище» при вібраційному формуванні бетонних виробів з жорстких і пластичних цементобетонних сумішей. Вони дозволяють провести комп'ютерне моделювання законів руху і виду коливань поверхні форми з бетонним виробом в робочому режимі, проаналізувати їх з точки зору ефективної дії на оброблюване середовище, обґрунтувати вид і форму вібраційної дії, а також уточнити раціональні параметри вібраційного обладнання;

5. Проведено аналіз вібраційних параметрів коливань точок вібраційної форми та обґрунтовано ефективність ущільнення відформованих виробів;

6. Експериментальна перевірка теоретичних результатів за допомогою лабораторної установки підтвердила ефективність використання запропонованої конструкції. Експериментальним шляхом встановлено наступне: параметри вібраційної установки, час та якість формування;

7. Розроблена методика розрахунку вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів;

8. Розроблено та виготовлено виробничий зразок установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів відповідно до патенту України на корисну модель;

9. Впровадження установки у виробництво здійснено на трьох підприємствах залізобетонних виробів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1 Маслов О.Г. Дослідження коливань вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів у робочому режимі / О.Г. Маслов, М.П. Нестеренко, Т.О. Склярєнко // Сборник научных трудов Строительство, материаловедение, машиностроение / Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. Редколлегия Хмара Л.А. (ответственный редактор) – вып. 66 – Днепропетровск, 2012. – С. 194 – 204.

2 Маслов О.Г. Аналітичні дослідження коливань вібраційної установки для формування бетонних виробів для дорожнього будівництва у режимі холостого ходу / О.Г. Маслов, М.П. Нестеренко, Т.О. Склярєнко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: С. Ф. Пічугін (головний редактор) та інші. – Вип. 4 (34) т.2. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 154 – 163.

3 Нестеренко, М.П. Розроблення та впровадження ефективної вібраційної установки з круговими коливаннями робочого органа для формування малогабаритних залізобетонних виробів / М.П. Нестеренко, Т.О. Склярєнко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: С. Ф. Пічугін (головний редактор) та інші. – Вип. 1 (31). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 236 – 240.

4 Нестеренко, М. П. Математичне моделювання коливань рухомої рами вібраційної установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів / М. П. Нестеренко, Т. О. Склярєнко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: С. Ф. Пічугін (головний редактор) та інші. – Вип. 2 (32), т. 1. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 251 – 256.

5 Нестеренко М.П. Математичне моделювання коливань вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів з урахуванням впливу оброблюваного середовища / М.П. Нестеренко, Т.О. Склярєнко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: С. Ф. Пічугін (головний редактор) та інші. – Вип. 1 (36). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С. 256 – 265.

6 Нестеренко М. П. та ін. Дослідження руху віброплощинки із циліндричними

та конічними опорами / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко, С. М. Малинський // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Редкол.: О. Г. Онищенко (гол. ред.) та ін. – Вип. 23, т. 2. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – С. 56 – 62.

7 Нестеренко М. П., Скляренко Т. О. Дослідження руху віброплощадки з конічними опорами // Вісник КДПУ. – Вип. 6 (53). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ ім. Михайла Остроградського, 2008. – С. 91 – 93.

8 Вібраційні площадки для формування великорозмірних об'ємних залізобетонних виробів / Р. О. Василенко, М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Редкол.: О. Г. Онищенко (відп. ред.) та інші. – Вип. 16. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – С. 30-37.

9 Нестеренко, М. П. Аналитическое моделирование вибрационных машин для формования железобетонных изделий с учётом влияния бетонной смеси на рабочий орган / М. П. Нестеренко, Д. С. Педь, Т. А. Скляренко // Материалы Международной научно-практической конференции (г. Волгоград, 2010 г.): в 2-х ч. – Ч. 1. – ВолгГАСУ, 2011.– С. 220 – 224.

10 Нестеренко, М.П. Установка для формування малогабаритних виробів із бетонних сумішей / М.П. Нестеренко, Т.О. Скляренко, Д.С. Педь, П.О. Молчанов // Сборник научных трудов SWorld / Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт морского флота Украины, Одесский национальный морской университет, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Институт морехозяйства и предпринимательства. Редколлегия: С.В Куприенко (главный редактор) и др. – т. 6. – Одесса, 2012. – С. 29 – 33.

11 Молчанов П.О Дослідження динамічних характеристик коливань активного робочого органа вібраційної касетної установки / П.О. Молчанов, М.П. Нестеренко, Д.С. Педь, Т.О. Скляренко // Сборник научных трудов SWorld / Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт морского флота Украины, Одесский национальный морской университет, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Институт морехозяйства и предпринимательства. Редколлегия: С.В Куприенко (главный редактор) и др. – т. 6. – Одесса, 2012. – С. 39 – 48.

12 Нестеренко, М. П. Математичне моделювання коливань рухомої рами вібраційної установки для формування малогабаритних залізобетонних виробів / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко, Д. С. Педь, П. О. Молчанов // Тези 64-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, з 17 квітня по 11 травня 2012 р.) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка: в 3-х т. Т. 3. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 56 – 57.

13 Нестеренко, М. П. Принципи раціонального конструювання стаціонарних вібраційних форм та інженерна методика їх динамічного розрахунку / М. П. Нестеренко, Д. С. Педь, П. О. Молчанов, Т. О. Скляренко // Тези 64-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, з 17 квітня по 11 травня 2012 р.) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка: в 3-х т. Т. 3. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 54 – 56.

14 Нестеренко, М. П. Вібраційна установка для формування поребриків та бордюрів у касетній формі / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко // Тези 63-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 3 (Полтава, 10 – 19 травня 2011 р.). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – С. 14 – 15.

15 Нестеренко, М. П. Віброустановка для формування малогабаритних бетонних та залізобетонних виробів у касетній формі / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко // Каталог наукових розроблень 2011 / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: Онищенко В. О. та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – С. 86.

16 Пат. 68059А Україна. МПК⁷ F16F3/07. Пружна опора для вібраційних пристроїв / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко, М. М. Нестеренко (Україна). – № 2003098610; Заявл. 22.09.03; Опубл. 15.07.04; Бюл. № 7. – 3 с.

17 Пат. на корисну модель 23325 Україна. МПК F16F 3/00 (2007.01). Пружна опора для вібраційних пристроїв / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко, М. М. Нестеренко (Україна). – № u 2006 10919; Заявл. 16.10.06; Опубл. 25.05.07; Бюл. № 7. – 4 с.

18 Пат. на корисну модель 63973 Україна. МПК В28В 7/24 (2006.01). Віброустановка для формування малогабаритних бетонних і залізобетонних виробів у касетній формі / М. П. Нестеренко, Т. О. Скляренко (Україна). № u201103942; Заявл. 01.04.2011; Опубл. 25.10.2011. – Бюл. № 20. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Скляренко Т.О. Розроблення вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.02 – Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2013. – 154 с.

У дисертації викладено результати теоретичного та експериментального дослідження параметрів установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів.

Проведено огляд та аналіз досліджень в галузі вібраційного формування залізобетонних виробів які показали, що існуюче обладнання не в достатній мірі дозволяє досягти високих вимог якості виробів через невідповідність необхідних вихідних параметрів формування при використанні віброустановок. Це обумовлено тим, що процес формування малогабаритних залізобетонних виробів недостатньо вивчений.

Створено математичну модель вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів на холостому ході та в робочому режимі. Враховано вимушуючі сили, викликані обертанням дебаланса, та реакції опор. У рівнянні моментів сил враховано розташування віброзбуджувача.

Складені рівняння руху робочого органа та їхній аналітичний розв'язок дозволили дослідити розподіл амплітуд по робочій поверхні вібраційної установки в залежності від кута та місця розташування віброзбуджувача.

Проведено аналіз вібраційних параметрів коливань точок вібраційної форми та обґрунтовано ефективність ущільнення відформованих виробів.

Розроблено та досліджено лабораторний зразок вібраційної установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів.

Експериментальна перевірка теоретичних результатів за допомогою лабораторної установки підтвердила ефективність використання запропонованої конструкції. Експериментальним шляхом встановлено наступне: параметри вібраційної установки; час та якість формування. Проведено ультразвукове дослідження відформованих виробів, яке показало високу якість формування.

Розроблено та виготовлено виробничий зразок установки для виготовлення малогабаритних залізобетонних виробів відповідно до патенту України на корисну модель.

Проведено впровадження у виробництво на трьох підприємствах по виготовленню залізобетонних виробів.

Ключові слова: віброформувальне обладнання, малогабаритні залізобетонні вироби, вимушуюча сила, касетна форма, віброзбудувач, пружна опора.

АННОТАЦІЯ

Скляренко Т.А. Разработка вибрационной установки для изготовления малогабаритных железобетонных изделий – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.02 – Машины для изготовления строительных материалов и конструкций. Полтава: Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, 2013. – 154 с.

В диссертации изложены результаты теоретического и экспериментального исследования параметров установки для изготовления малогабаритных железобетонных изделий.

В первом разделе проведен обзор и анализ достижений в области вибрационного формирования железобетонных изделий, которые показали, что существующее оборудование не в достаточной степени позволяет достичь высоких требований качества изделий из-за несоответствия необходимых исходных параметров формирования при использовании виброустановок. Это обусловлено тем, что процесс формирования малогабаритных железобетонных изделий недостаточно изучен.

Во втором разделе создана математическая модель вибрационной установки для изготовления малогабаритных железобетонных изделий на холостом ходу и в рабочем режиме. Учтены вынуждающая сила, вызванная вращением дебаланса, и реакции упругих опор. В уравнении моментов сил учтено расположение вибровозбудителя.

Составленные уравнения движения рабочего органа и их аналитические решения позволили исследовать распределение амплитуд по рабочей поверхности вибрационной установки в зависимости от угла и местоположения вибровозбудителя.

Проведен анализ вибрационных параметров колебаний точек вибрационной формы и обоснована эффективность уплотнения отформованных изделий.

В третьем разделе разработан и исследован лабораторный образец вибрационной установки для изготовления малогабаритных железобетонных изделий.

Экспериментальная проверка теоретических результатов с помощью лабораторной установки подтвердила эффективность использования предложенной конструкции. Экспериментальным путем установлено следующее: параметры вибрационной установки, время и качество формования. Проведено ультразвуковое исследование отформованных изделий, которое показало высокое качество формования.

В четвёртом разделе разработан и изготовлен производственный образец установки для изготовления малогабаритных железобетонных изделий в соответствии с патентом Украины на полезную модель.

Проведено внедрение в производство на трех предприятиях по изготовлению железобетонных изделий.

Ключевые слова: виброформовочное оборудование, малогабаритные железобетонные изделия, вынуждая сила, кассетная форма, вибровозбудитель, упругая опора.

ANNOTATION

Taras Sklyarenko Development of vibration installations for producing small concrete products – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences Speciality 05.05.02 – Machines for production of building materials and constructions. Poltava: Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, 2013. - 154 p.

In this thesis are presented theoretical and experimental investigations of the installation for producing small concrete products.

The results of research in vibration forming concrete products area has been reviewed and analysed. This result is showed that the existing equipment is not high enough to ensure the requirements. It is because that the formation of small concrete products poorly understood.

Has been established mathematical model of vibration installations for making small concrete products at an idle and in the operating mode. Are taken into account force of compel caused by rotating unbalance, and reaction supports. And also the moments of forces location of the vibrator was included in the equation. This is all allowed to investigate the distribution of the amplitudes of the surface vibration installation.

The efficiency of theoretical results has been confirmed by using experimental verification laboratory installation. By experimental way was found next: the options of vibration installation, time and quality of forming. And also the high quality of concrete products has shown ultrasonic research.

According to the patent of Ukraine for useful model was designed and produced industrial model installations for producing small concrete products.

On the three companies were made manufacturing application.

Key words: vibration equipment, small concrete products, exciting force, vibration exciter, battery mold, vibration generator, elastic support