

Висновки

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено, що:

1. розглянута конструкція шнекофрезерного робочого обладнання з дискретною установкою по гвинтовій лінії ґрунторозробних лопаток на барабанах фрез забезпечує ефективну розробку та переміщення в осьовому напрямку розробленого ґрунту під трубою на обидві сторони від нитки трубопроводу;
2. сила напору потоку розробленого ґрунту, що транспортується шнекофрезерним робочим обладнанням з-під трубопроводу доволі значна, що забезпечує можливість зміни напрямку переміщення ґрунту після його виходу з зони робочого обладнання;
3. максимальне навантаження робочого обладнання при розробці в'язких глинистих ґрунтів II категорії складності розробки, під трубопроводами $\varnothing 1220$ мм, швидкості подачі робочого обладнання на забій $V_e = 150$ м/год, швидкості різання ґрунту $V_p = 2,24$ м/с складає 50 ± 3 кВт при величині крутного моменту $M_{кр} = 55$ кН·м, та величині сили тяги T в межах 40 кН.

Література

1. Патент на винахід № 17163 Україна, МПК⁶ E02F 5/10, B62D 55/24. Машина для підкопу трубопроводу і гусеничний ходовий пристрій /Биков О.В., Василенко С.К., Джарджіманов А.С., Ібрагімов М.Ш., Коваль А.Б., Кумилганов А.С., Лейченко Ю.Б., Мусійко В.Д., Савенок В.І., Черняєв В.Д., Яковлев В.І.; заявники та власники Акціонерне товариство відкритого типу Акціонерна Компанія по Транспорту Нафти "Транснефть" (RU); Підприємство Придніпровських Магістральних Нафтопроводів (UA); Товариство з Обмеженою відповідальністю Науково-дослідний та технічний Центр "Ротор" (UA) – № 96093693 ; заявл. 25.09.1996 ; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6, 1998.
2. Патент на полезную модель № 93126 Российская Федерация, МПК F16L1/028 (2006.01). Машина для удаления грунта из-под магистрального трубопровода. /Федотенко Ю.А., Киселева Л.Н., Лазутина Д.В. ; Патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ) (RU) – № 2009137839/22 ; заявл. 12.10.2009 ; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11, 2010.
3. А.с. № 1320345 СССР, МПК4 E02F5/00, G01M15/00. Стенд для испытания рабочих органов землеройных машин. В.Д.Мусийко, В.Ф.Маслов, А.Б.Коваль, А.В.Быков, В.М.Мяновский, Ю.М.Варфоломеев – № 4017737/29-03 ; заявл. 05.02.1986 ; опубл. 30.06.1987, Бюл. № 24.

УДК 693.542.52-868

Басараб В.А.¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

АННОТАЦІЯ. Стаття присвячена дослідженню взаємодії середовища (бетонної суміші) з робочим органом електромагнітної ударно – вібраційної установки для віброущільнення будівельних сумішей. Досліджено поведінку системи для дискретної та континуальної моделей середовища. Створено дослідно – експериментальний стенд, що включає ударно – вібраційну установку та апаратуру прийому, запису та аналізу даних. Проведено комплекс експериментальних досліджень з використанням методу динамічної петлі гістерезису для висоти суміші до 1 м. Для аналізу основних параметрів взаємодії системи "машина-середовище" застосовано чисельну методику розрахунку.

Ключові слова: ударно – вібраційна установка, динамічна петля гістерезису, чисельний розрахунок.

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена исследованию взаимодействия среды (бетонной смеси) с рабочим органом электромагнитной ударно-вибрационной установки для виброуплотнения строительных смесей. Исследовано поведение системы для дискретной и континуальной моделей среды. Создан исследовательский стенд, который состоит из ударно-вибрационной установки и аппаратуры приема, записи и анализа данных. Проведен комплекс экспериментальных исследований с использованием метода динамической петли гистерезиса для высоты смеси до 1 м. Для анализа основных параметров взаимодействия системы "машина-среда" применена численная методика расчета.

Ключевые слова: ударно – вибрационная установка, динамическая петля гистерезиса, численный расчет.

ANNOTATION. The article presents a modern investigation of the problem of interaction between concrete mix and working platform electromagnetic shock – vibration setting under conditions of vibro-compacting. Applying the discrete and continuum models of the concrete mix the behavior of the system was researched. The laboratory test equipment which includes vibroimpact set and PC – based data acquisition system was created. For the realization of laboratory researches a dynamic loop of hysteresis was applied for the height of the mixture to 1 m. The numeral method with their application to calculation and analysis main parameters of "environment-machine" system in conditions of interaction was created.

Key word: shock vibration setting, dynamic loops of hysteresis, technique of numeral calculation.

Актуальність теми. Процес ущільнення є основним процесом в технології виробництва збірного залізобетону і має вирішальний вплив на якість виробів, трудомісткість робіт та технологічну ефективність.

Останнім часом більш ефективними є низькочастотні ударно-вібраційні технології ущільнення, що мають значну асиметрію прискорень [1,4,5,7]. Багато праць присвячених дослідженню впливу середовища на вібраційну машину. В основному ці роботи присвячені дослідженню машин з гармонічним режимом руху. Існуючі розрахункові залежності неповною мірою відповідають сучасним вимогам, оскільки здебільшого визначаються за емпіричними даними, які є дійсними тільки в межах досліджень, під час яких вони отримані. Зумовлюється це тим, що відсутня загально визнана модель процесу ущільнення та не визначено реальний вплив оброблюваного матеріалу на динаміку електромагнітної ударно-вібраційної установки.

Розв'язати проблему можна шляхом врахування оброблюваного матеріалу із застосуванням моделі спільного руху робочого органу та середовища, використовуючи експериментально-теоретичну модель суміші в дискретно-континуальних системах [5]. Такий підхід дає можливість визначити робочі параметри віброустановки, які забезпечували б високу продуктивність, зменшення енергоємності робочого процесу та отримання виробів високої якості. Тому визначення параметрів руху електромагнітної ударно-вібраційної установки з урахуванням впливу бетонної суміші є актуальним і своєчасним.

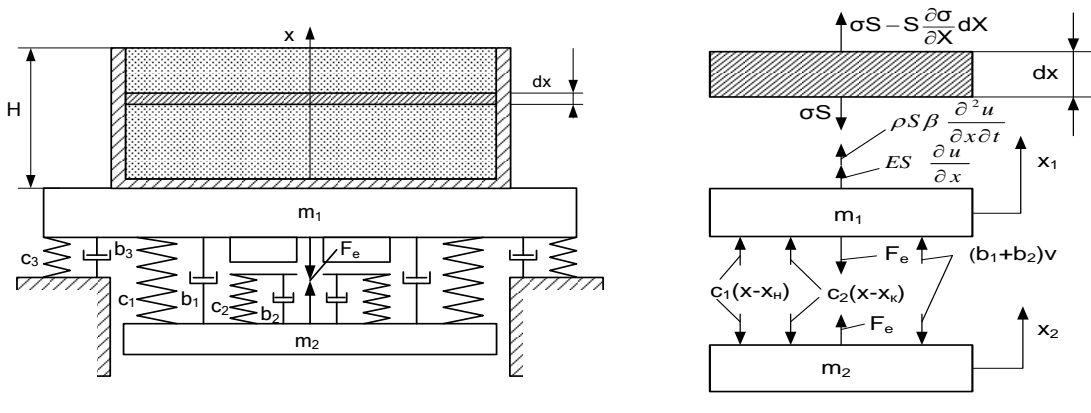
Викладення основного матеріалу. Для складання математичної моделі пропонується метод, у відповідності з яким робоче середовище в процесі коливань враховується в рівняннях руху робочих органів машин у вигляді контактної сили, що називається реакцією середовища. В якості фізичної моделі використовувалась система з розподіленими параметрами. Модель системи та схему прикладання сил представлено на рис. 1.

Досліджувана система складається з маси m_1 – робочого органу і частини маси форми з сумішшю, яка припадає на один віброблок а також маси m_2 – ударника. Коливання мас збуджуються електромагнітом з силою тяги F_e . Співударання мас відбувається через пружні елементи (буфера) жорсткістю c_2 з коефіцієнтом опору b_2 . Взаємне переміщення мас забезпечується за рахунок пружних елементів (підвіски ударника) жорсткістю c_1 з коефіцієнтом опору b_1 . Маса m_1 віброізолюється від фундаменту опорними пружними елементами (амортизаторами) жорсткістю c_3 з коефіцієнтом опору b_3 . При забезпеченні умови віброізоляції, опорні пружні елементи не виявляють суттєвого впливу на рух системи, тому, можна прийняти, $c_3=0$ і $b_3=0$.

Динаміка системи описується рівняннями руху мас та рівняннями електромагнітного ланцюга [2,6]. Рівняння руху верхньої маси:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + b_3 \dot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) + c_2(x_1 - x_2 + x_k) + c_3 \dot{x}_1 = -F_e \quad (1)$$

де \ddot{x}_1 - прискорення маси m_1 .



а
Рис. 1. Модель системи "машина-середовище":
 а – фізична модель; б – схеми прикладання сил.

Рівняння руху ударника:

$$m_2 \ddot{x}_2 - (b_1 + b_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_1(x_1 - x_2) - c_2(x_1 - x_2 + x_k) = F_e \quad (2)$$

де \ddot{x}_2 - прискорення маси m_2 ;

$x_k = 0.003\text{м}$ - зазор в магнітопроводі для запобігання співударяння статора та якоря електромагніта.

Рівняння електромагнітного ланцюга:

$$\dot{\psi}_n = U - iR \quad (3)$$

де i - струм в котушці, А; R - опір котушки, Ом.

В системі з розподіленими параметрами реакція середовища

представляється у вигляді контактної сили (сили опору середовища):

$$F_{on} = S \left(E \frac{\partial u}{\partial x} + \rho \beta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \right) \quad (4)$$

Розглядаючи систему з розподіленими параметрами приведемо основні допущення прийняті в моделі:

- сила пружності підвіски ударника відповідає закону Гука;
- при розгляді напружено - деформованого стану середовища сили бокового опору не враховувались, тобто розглядається одномір-на задача;
- процеси, що відбуваються в середовищі під-порядковуються лінійному закону;

Згідно принципу Даламбера запишемо рівняння руху системи з урахуванням сили опору середовища.

Рівняння руху робочого органу:

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{1}{m_1} \left[-(b_1 + b_2)v - (c_1 + c_2)x + c_1x_n + c_2x_k + F_{on} - \frac{ab\psi^2}{2(b+x)^2} \right] \quad (5)$$

Рівняння руху ударника:

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{1}{m_2} \left[c_1x_n + c_2x_k - (c_1 + c_2)x - (b_1 + b_2)v - \frac{ab\psi^2}{2(b+x)^2} \right] \quad (6)$$

Рівняння зміни потокозчеплення:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{U - iR - \frac{L_0 a \psi b v}{(b+x)^2}}{\frac{L_0 a x}{b+x} + L_0 A D e^{D\psi} + 1} \quad (7)$$

де $x = x_1 + x_2 + x_k$ - координата відносного положення мас;

L - індуктивність котушки, Гн.

Рівняння руху шару суміші:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \beta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (8)$$

де β - коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{с}^2/\text{с}$;

c - швидкість розповсюдження хвиль деформації в шарах суміші.

Поставлена задача розв'язувалась за методом Даламбера.

Якщо позначити $x_I(t)$ - переміщення робочого органу, тоді загальне рішення з урахуванням затухання записується у вигляді [1]:

$$u(x, t) = x_1 \left(t - \frac{x}{c} \right) e^{-\zeta x} + x_1 \left(t - \frac{2H - x}{c} \right) e^{-\zeta(2H - x)} \quad (9)$$

де ζ - коефіцієнт затухання хвилі по висоті суміші (визначається експериментально).

Запишемо початкові та граничні умови:

$$\text{при } t=0 \quad \frac{\partial u}{\partial t} = 0; \quad \text{при } x=H \quad \frac{\partial u}{\partial x} = \xi(H, t) = 0; \quad \text{при } x=0$$

$$u(0, t) = x_I(t).$$

Загальне рішення хвильового рівняння має вигляд:

$$u(x, t) = x_{1-\phi}(t) e^{-\zeta x} + x_{1-\nu}(t) e^{-\zeta(2H-x)} \quad (10)$$

де $\phi = \frac{x_{usc}}{c\Delta t}$ - кількість кроків запізнення падаючої

хвилі при досягненні шару суміші висоти x_{usc} ;

$\nu = \frac{2H - x_{usc}}{c\Delta t}$ - кількість чисельних кроків запізнення

хвилі, відбитої від верхньої межі, при досягненні шару суміші висоти $2H - x_{usc}$; $\Delta x = c\Delta t$ - елементарний шар суміші.

Розраховуємо систему рівнянь чисельним методом Рунге - Кутта 1-го порядку точності за допомогою спеціально створеної програми в середовищі MathCAD, яка дає можливість будувати графіки а також виводити числові дані динамічних параметрів як вібромашини так і середовища.

Відомо, що в процесі роботи бетонна суміш змінює свої характеристики, тому однією з умов ефективного проектування вібросистем є перевірка ефективності роботи машини в умовах можливих відхилень робочих параметрів. З роботи [2] відомо, що цілеспрямованою зміною жорсткості підвіски ударника C_1 та часом затримки на вмикання живлення електромагнітів t_z можна керувати параметрами роботи машини для забезпечення необхідного за технологією змінного режиму ущільнення.

В результаті аналізу залежності основних параметрів роботи машини від t_z встановлено, що частота ударів змінюється в середньому на 15%, напіврозмах коливань на 30%, потужність - більш ніж на 100%. Характер зміни напіврозмаху та потужності в залежності від жорсткості ресори є нелінійним і раціональним в межах оптимальних параметрів машини. Напіврозмах коливань робочого органу змінюється на 100%, потужність - більш ніж на 100%. частота руху робочого органу змінюється в межах 30%.

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено дослідно-експериментальний комплекс (рис.2), що складається з ударно-вібраційної установки та апаратури прийому і обробки сигналу. Експериментальна установка складається з двох віброблоків на які встановлено форму з сумішшю.

Верхня маса включає масу робочого органу 1, на яку встановлено форму 17 з сумішшю, що ущільнюється, та масу статора 3 електромагніта з котушкою 15. Верхня маса віброізолюється від фундаменту опорними амортизаторами 11. Нижня маса включає масу ударника 16 з якорем 14 електромагніта. Ударник з'єднаний з робочим органом пружними елементами 18. Маси співударяються через буферні елементи 12, зазор в яких менший зазору в магнітопроводі електромагніта. Котушки електромагнітів всіх віброблоків

підключено паралельно до виходу блока живлення. Між робочим органом та ударником встановлено переривач живлення 13, який є елементом зворотного зв'язку в схемі керування блоком живлення.

Віброблок працює наступним чином. При протіканні струму в котушці, під дією електромагнітної сили маси зближуються і стискають пружні елементи підвіски ударника. При заданому положенні мас (в початковий момент удару або дещо раніше), переривач знеструмлює котушку. Далі, під дією сили тяги електромагніта, що створюється залишковим струмом, маси продовжують зближуватись і стискають буферні елементи. Далі, під дією потенціальної енергії стиснення буферів та підвіски ударника, а також за рахунок відновлення швидкості після удару, маси віддаляються. Через заданий інтервал часу (в початковий момент зближення мас або дещо пізніше) реле часу, увімкнене в схему керування, подає живлення на котушку і цикл повторюється.

Визначення параметрів взаємодії середовища з робочим органом установки здійснювалось за допомогою тензометричного обладнання. Для дослідження хвильових явищ в бетонній суміші використовувались датчики тиску (мездози) конструкції ЦНДІБК [3]. Тарування датчиків тиску здійснювалось за допомогою тарувального пристрою, в якому створюється тиск і вихідний сигнал датчика фіксується в ЕОМ. Запис

переміщення шарів суміші здійснювався за допомогою нестандартних датчиків які представляють собою консольні пластинки розміром $(B \times L \times H) = 20 \times 160 \times 1,2$ мм. Чутливими елементами датчиків є тензорезистори, з'єднані за напівмостовою схемою.

Під час роботи установки сигнали від тензодатчиків підсилювались за допомогою тензостанції, далі сигнал надходив на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП за спеціальною програмою здійснював зчитування аналогового сигналу, перетворення сигналу в числовий код і побудову графіків на екрані ЕОМ. Побудова графіків та їх аналіз проводилась за допомогою пакета стандартних програм MS Office та Mathcad.

Оцінка реакції середовища на рух робочого органу віброустановки зводилась до визначення параметрів напружено-деформованого стану середовища. Для розв'язання задач досліджень було застосовано метод динамічної петлі гістерезису (ДПГ) [5,7].

Дослідження проводились для повного циклу ущільнення суміші, який визначався за осадкою поверхні та за умов виділення цементного розчину на поверхні. Під час проведення досліджень використовувались основна форма – $b \times h \times l = 0,4 \times 0,3 \times 0,6$ м та метрова форма-вставка $b \times h \times l = 0,2 \times 0,4 \times 1$ м.

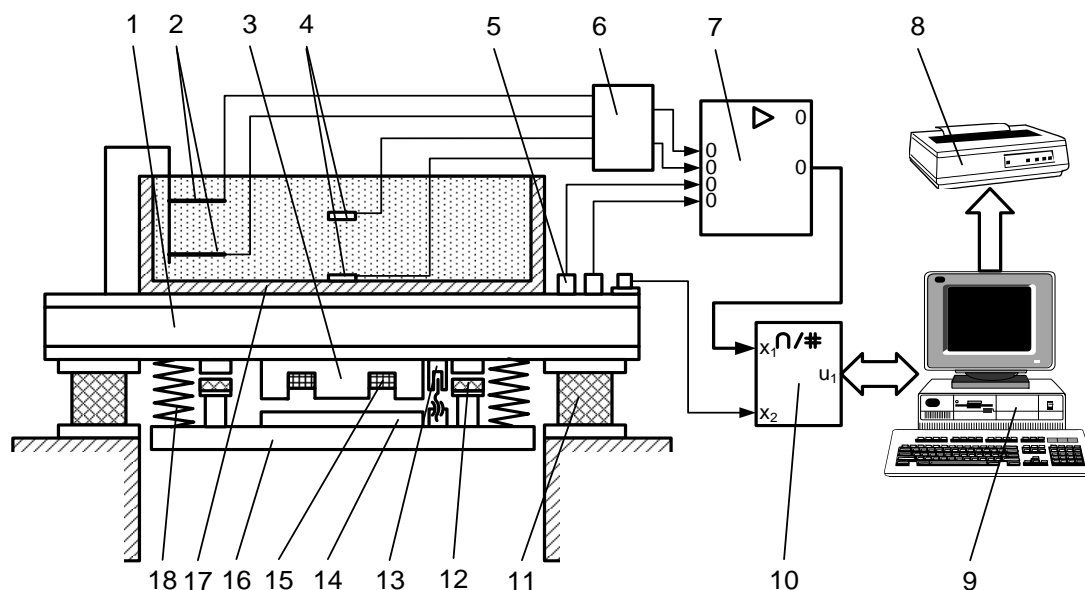


Рис. 2. Схема дослідно-експериментального комплексу:

1 – робочий орган віброустановки; 2 – датчик переміщення шару суміші; 3 – статор електромагніта; 4 – датчик тиску (мездоза); 5 – датчики переміщення, швидкості та прискорення; 6 – додаткові резистори; 7 – тензостанція; 8 – принтер; 9 – ЕОМ; 10 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 11 – опорні амортизатори; 12 – буферні елементи; 13 – переривач живлення; 14 – якорь електромагніта; 15 – котушка електромагніта; 16 – ударник; 17 – форма; 18 – пружні елементи.

Слід відмітити, що мездоза, жорстко встановлена на дні форми, фіксує стрибок тиску під час удару, що супроводжується виникненням гармонік високої частоти. Цей ефект можна пояснити різкою зміною характеру прискорення робочого органу при ударі та при відриві ударника на ділянці зворотного руху. Під час

удару значення тиску складає для мездози 1 $P = 0,037$ МПа, для мездози 2 $P = 0,028$ МПа.

Аналіз записів показав, що переміщення шарів суміші змінюється пропорційно висоті суміші та в протифазі до зміни тиску в середовищі. Основні етапи проведення експериментальних досліджень зображено на рис. 3.

Для вимірювання переміщення та кута зсуву фаз шарів бетонної суміші по висоті форми використовую-



Віброплощадка з висотою форми 1 м

валась метрова форма з 8-ма встановленими тензометричними датчиками (рис. 4).



Встановлення датчиків



Суміш після віброущільнення

Рис. 3. Основні етапи проведення експериментальних досліджень.

Аналіз результатів показав наступне: в умовах вільного встановлення датчиків, шари суміші на рівні д1, д2, д3 при висоті 0,3 м мають амплітуду руху 0,1...0,3 мм з невеликим зсувом фаз в початковий момент ущільнення. Суміш на рівні д4, д5, д6 характеризується складним рухом – пропорційно переміщенню робочого органу з протифазними показаннями датчиків. Амплітуда руху в даній зоні складає 0,1...0,5 мм, що пов'язано з активним формоутворенням. Якщо порівняти результати експериментальних досліджень з теоретичними то можна зробити висновок, що за умов представлення середовища дискретними моделями бетонна суміш рухається з невеликим запізненням по відношенню до руху робочого органу. Тому для даної зони доцільно використовувати дискретну модель. На

рівні д7, д8 амплітуда руху складає 0,7...1,2 мм, характер руху – складний знакозмінний, відрізняється як від нижніх так і середніх шарів. Для даної висоти суміші ($h > 0,5$ м) доцільно використовувати хвильову модель для описання руху суміші.

Виходячи з вищевказаного можна вказати на наявність в суміші умовно 3-х зон – контактної, перехідної та верхньої. Виходячи з характеру руху суміші в часі можна також весь цикл ущільнення розділити на 3 умовних періоди: період інтенсивного осадження суміші і формоутворення $t = 0 \dots 10$ с, період формоутворення і перерозподілу компонентів суміші, період перерозподілу напружень та деформацій з високою інтенсивністю вищих гармонічних складових.

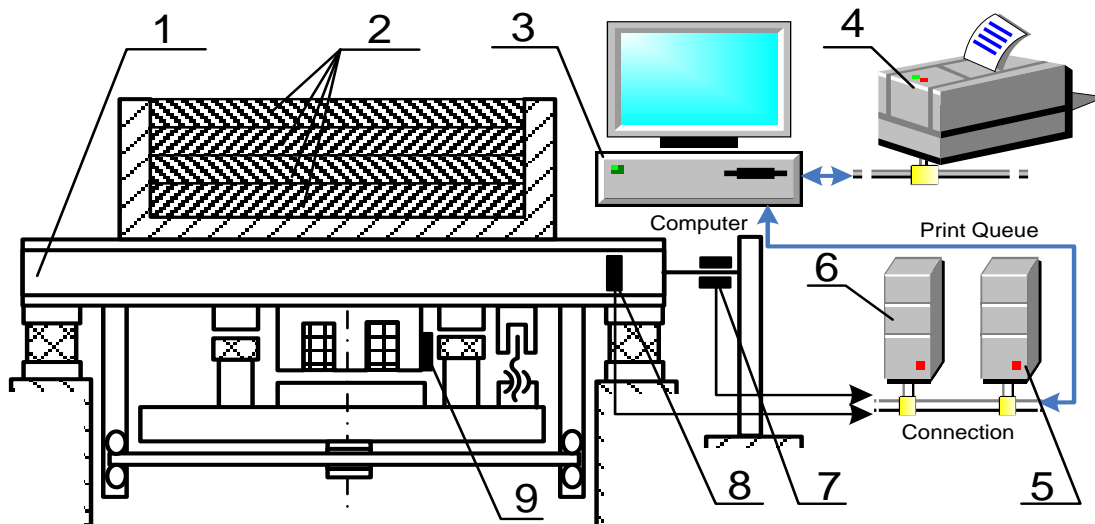


Рис. 4. Дослідницький комплекс:

1 – віброустановка; 2 – імітатори суміші; 3 – ЕОМ; 4 – принтер; 5 – АЦП; 6 – блок первинної обробки сигналу; 7 – датчик переміщення робочого органу; 8 – датчик частоти; 9 – датчик вимірювання потужності (шунт).

Сутність роботи полягає у дослідженні закономірностей зміни параметрів роботи машини в умовах взаємодії з оброблюваним середовищем. Зміна навантаження на робочий орган створюється за допо-

могою імітаторів бетонної суміші (металевих пластин).

Амплітуда руху робочого органу фіксується за допомогою тензодатчика який встановлений на

кронштейні та електронного вібрографа; значення струму та напруги вимірюються за допомогою шунтів, що встановлюються в системі живлення віброустановки.

Працює установка наступним чином: підключаються датчики та апаратура, віброустановка приводиться у вихідне положення; далі вмикається установка та апаратура, фіксуються параметри роботи ма-

шини для вихідного положення та за умов зміни навантаження. Дані відображаються на екрані монітора та записуються на жорсткий диск ЕОМ. Експериментально вимірюються та будуються графіки наступних параметрів: $I(A)$, $U(B)$, $x_I(\text{мм})$, $f(\text{Гц})$, $m_{\text{бс}}$. Далі проводимо теоретичні розрахунки параметрів роботи машини: $x_I=f(m_{\text{бс}})$, $f=f(m_{\text{бс}})$, $P=f(m_{\text{бс}})$, будуюмо графіки і порівнюємо з експериментальними результатами.

Висновки

1. Встановлено зв'язок параметрів руху робочого органу вібромашини з параметрами впливу бетонної суміші шляхом розв'язання контактної задачі взаємодії робочого органу ударно-вібраційної установки з бетоною сумішшю за умов віброущільнення.

2. Створено та впроваджено в учбовий процес дослідно-експериментальний комплекс з дослідження закономірностей зміни параметрів роботи машини в умовах взаємодії з оброблюваним середовищем.

Література

1. Афанасьев А.А. Технология импульсного уплотнения бетонных смесей. М.: Стройиздат, 1987.-166с.
2. Баранов Ю.А. Особенности проектирования ударно-вибрационных площадок с электромагнитным приводом / Ю. А. Баранов // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. Респуб. межвед. науч.-технич. сборник. К.: Техника, 1990, вып.43. – С.69 – 72.
3. Баранов Ю.О. Методика экспериментальных исследований взаимодействия среды с рабочим органом ударно-вибрационной площадки / Ю.О. Баранов, М.О. Клименко, В.А. Басараб // Техніка будівництва №11.К.: КНУБА, 2002. – С. 24–28.
4. Гусев Б.В. Ударно-вибрационная техно-логия уплотнения бетонных смесей / Б.В. Гусев, А.Д. Демидов, Б.И. Крюков и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 150 с.
5. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий дім “Слово”, 2010. – 440 с.
6. Иносов В.Л., Назаренко И.И., Хо Тхи Ха. Новая электромагнитная низкочастотная виброплощадка ударного действия / В.Л. Иносов, И.И. Назаренко, Хо Тхи Ха // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1982. – № 7. С. 118-122.
7. Чубук Ю.Ф. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей / Ю.Ф. Чубук, И.И. Назаренко, В.Н. Гарнец. – К.: Вища школа, 1985. – 167 с.

УДК 621.879.48

Коваль А. Б.¹

ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ОПОРУ РОЗВОРОТУ ГУСЕНИЧНОЇ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ

АННОТАЦІЯ. В статті визначено залежності для визначення моменту опору розвороту гусеничної універсальної землерийної машини та величини зміщення центрів повороту гусениць в залежності від навантаження базового тягача.

Ключові слова: універсальна землерийна машини, курсова стійкість, еюра поперечних сил, момент опору розвороту.

АННОТАЦИЯ. В статье определены зависимости для определения момента сопротивления развороту гусеничной универсальной землеройной машины и величины смещения центров поворота гусениц в зависимости от нагружения базового тягача.

Ключевые слова: универсальная землеройная машина, курсовая устойчивость, эюра поперечных сил, момент сопротивления развороту.

ANNOTATION. In the article the interdependence for determination of the resistance to swinging point of the universal tracked digging machine and the value of track center swing depending on base carrier load are defined.

Key words: universal digging machine, course stability, shearing force diagram, resistance to swing point.

Вступ. Сучасне будівництво досить складно будівельних робіт. І це не випадково, тому, що саме уявити без використання засобів механізації технічний рівень та можливості будівельної техніки і

¹ Коваль А. Б. Національний транспортний університет.