**Коц І. В.**

к.т.н., професор

Куриленко Ю. П.

аспірант

*Вінницький національний
технічний університет***Kurylenko Yu.**

Postgraduate Student

Kots I.

Ph.D., Professor

*Vinnitsia National
Technical University***УДК 666.97.033.16(088.8)****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-4-3**

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛИБИННИХ ВІБРАТОРІВ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Багато будівельних технологічних процесів, які пов'язані з виконанням бетонувальних робіт потребують глибокого ущільнення бетонних сумішей. Від якості ущільнення бетону залежать основні властивості і характеристики будівельних конструктивних елементів. Найбільш якісне ущільнення бетонної суміші досягається завдяки вібросиловій взаємодії з робочим обладнанням, яке генерує своїми робочими поверхнями вібраційні коливання, що передаються в оточуюче бетонне середовище. При впливі вібрації на бетонну суміш відбувається вимушене коливання часток суміші, яке фактично є періодичним струшуванням системи. Перебуваючи у підвищеному стані під час струшування, зв'язок частки розчину з іншими частинками постійно порушується. Завдяки впливу сили поштовху і під впливом власної маси при падінні, частинки прагнуть зайняти компактніше положення, в якому вплив поштовхів на них мінімальний. Внаслідок більш щільної упаковки вся бетонна суміш ущільнюється. При цьому також порушується зв'язок між частинками, знижується в'язкість двофазної системи, бетонна суміш повертається у тимчасово текучий стан, тобто набуває так званої тиксотропності. Перебуваючи в рідкому стані, суміш краще розтікається під час вібрування і набуває форми ємності, що містить її, з подальшим ущільненням під дією сили гравітації. Для кожного типу бетонної суміші існують свої оптимальні параметри впливу вібрації (частота коливань, амплітуда, тривалість), при яких найбільш ефективно забезпечується якість виробів. Визначення найоптимальніших режимів роботи глибоких установок для ущільнення є досить технічно складним завданням. Наведені результати експериментального дослідження нового конструктивного рішення занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибокого ущільнення бетонної суміші в реальних умовах. Обробка отриманих результатів після проведених дослідів здійснювалась за методикою планування експериментів. Отримані рівняння регресії, які характеризують основні вихідні параметри установки від змінних факторів впливу.

Ключові слова: ущільнення бетону; жорстка бетонна суміш; занурювальна площинна установка; гідроімпульсний привод; амплітуда; частота; вібраційна потужність



Вступ. При спорудженні нових будівель та їх реконструкції застосовують технологічні процеси, що пов'язані із глибинним ущільненням бетонних сумішей. Аналітичний огляд відомих установок для глибинного ущільнення та технологій їх застосування показав, що вони є ще недостатньо ефективними, зокрема, при ущільненні переважно жорстких бетонних сумішей і при влаштуванні складних армованих залізобетонних конструкцій тощо. У зв'язку з цим, виникла необхідність в створенні нових конструктивних рішень установок для глибинного ущільнення, привід яких дозволяє без яких-небудь конструктивних змін в ньому, плавно регулювати робочі параметри вібраційного навантаження бетонної суміші залежно від заданого режиму, потрібного згідно необхідного регламенту технологічному процесу. Як показав аналіз відомих технічних рішень щодо устаткування для глибинного ущільнення одним із раціональних конструктивних виконань є площинні вібраційні установки, які більш ефективні у порівнянні із аналогічними установками – глибинними вібраторами радіальної дії. Основним конструктивним вузлом, який визначає ефективність і надійність машин вібраційної дії є їх привід. Найбільше розповсюдження серед приводів для устаткування вібраційної дії, що використовується в будівельній та інших галузях промисловості, отримали електромеханічні, пневматичні і гідравлічні [3–8]. Внаслідок різних конструктивних недоліків існуюче вібраційне устаткування недостатньо задовольняє поставленим вимогам для різних технологічних процесів. У ряді відомих публікацій гідравлічний привід характеризується як такий, що має достатньо високу енергоємність і значну швидкодію, дозволяє легко змінювати параметри робочих ходів в процесі вибору оптимальних технологічних режимів [3-8].

Метою роботи є необхідність в створенні нових технологій та конструктивних рішень установок для глибинного ущільнення, привід яких дозволяє без яких-небудь конструктивних змін в ньому, плавно регулювати робочі параметри вібраційного навантаження бетонної суміші залежно від заданого режиму, потрібного згідно необхідного регламенту технологічному процесу.

Об'єктом дослідження є експериментальне дослідження закономірностей процесів віброущільнення жорсткої бетонної суміші від зміни основних параметрів та характеристик вібросилової взаємодії при спонуканні до виникнення даних процесів за використання гідроімпульсного

приводу занурювальної площинної установки для глибинного ущільнення.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 (а) зображена конструктивна схема (загальний вигляд) запропонованої нами занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибинного ущільнення бетонних сумішей, а на рисунку (б) – її розріз по А-А [1,2].

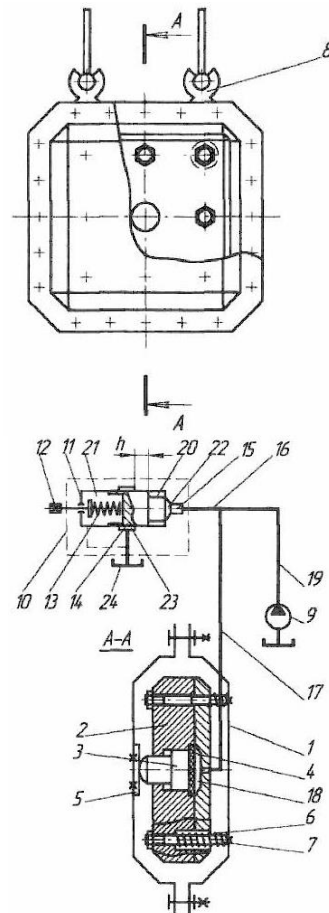


Рис. 1 а) конструктивна схема (загальний вигляд) занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибинного ущільнення бетонних сумішей; б) її розріз по А-А (двовипуклий порожнистий корпус 1, інерційна маса 2, плунжерний штовхач 3, мембрана 4, упор 5, пружини 6, тяги 7, підвісний шарнір 8, насос 9, гідроімпульсний клапан 10)

Занурювальна площинна установка з гідроімпульсним приводом для глибинного ущільнення бетонних сумішей працює так. При включенні привідного насоса 9 робоча рідина під тиском надходить по напірній магістралі 19, гідролінії 16 в підплунжерну порожнину 15 гідроімпульсного клапана 10 і по гідролінії 17 в робочу порожнину 18, діє на підймальну площу мембрани 4 і штовхачем 3 з упором 5 передає



виникаюче зусилля на двовипуклий порожнистий корпус 1, виконуючи при цьому переміщення інерційної маси 2 вздовж направляючих тяг 7 і стиснення пружин 6. В напірній магістралі 19, гідролініях 16, 17 і порожнинах підплунжерної 15 і робочої 18 відбувається зростання тиску робочої рідини до заданого значення p_H , на яке налаштований гідроімпульсний клапан 10 зусиллям притискування регульованої за допомогою гвинта 12 пружини 13. Зусилля притискування останньої обирається виходячи із величини максимально необхідного тиску робочої рідини в гідросистемі і площі поперечного перерізу першого ступеня двоступеневого плунжера 14, яким він притиснутий по герметизуючій фасці до установочного сидла 22. Слід відмітити, що надплунжерна порожнина 21 постійно гідравлічно зв'язана зі зливною магістраллю.

Після подолання силою тиску робочої рідини в гідросистемі зусилля пружини 13 відбувається відрив тіла двоступеневого плунжера 14 від сидла 22 і робоча рідина, яка надходить в замкнену порожнину 20, починає діяти на площу, що збільшилась – площу другого ступеня. Так як зусилля від тиску робочої рідини набагато перевищує зусилля пружини 13, то двоступеневий плунжер 14 різко зміщується вліво, при цьому відбувається проходження додаткового перекриття h і відкриття зв'язку зливної кільцевої розточки 23 в корпусі 11, з'єднаної зі зливом 24, з підплунжерною порожниною 15. Тиск робочої рідини в робочій порожнині 18, гідролініях 16, 17 і напірній магістралі 19, взаємоз'єднаних з підплунжерною порожниною 15, падає до зливного і так як зусилля протидії зливного тиску зі сторони підплунжерної порожнини 15 на торець двоступеневого плунжера 14 стає меншим зусилля стисненої пружини 13, то під дією цього зусилля двоступеневий плунжер 14 повернеться в вихідне положення. Після цього зростає тиск в системі і далі робочий цикл повторюється в автоматичному режимі. Завдяки підвісним шарнірам 8 корпус 11 гідравлічного вібратора для глибокого імпульсного ущільнення бетонної суміші може вільно здійснювати коливальні рухи у товщі бетонної суміші, здійснюючи на неї силову взаємодію прилеглими площинами корпусу 11.

Відповідним налагодженням пружини 13 двоступеневого плунжера 14, а також регулюванням продуктивності привідного насосу 9, можна в широких межах змінювати робочі параметри віброущільнення в результаті зміни частоти і амплітуди коливань двовипуклого порожнистого корпусу 1, тривалості проходження силового імпульсу в середовищі, яке ущільнюється.

Необхідною умовою ущільнення є взаємодія робочого органу – двовипуклого порожнистого корпусу 1 установки з бетонною сумішшю. Для подальшого аналізу впливу фізико-механічних властивостей бетонної суміші на параметри ущільнюючої установки, необхідно проаналізувати процеси, що протікають при взаємодії її робочого органу з середовищем, яке ущільнюється.

Для цього було проведено експериментальне дослідження дослідної установки в реальних умовах ущільнення бетонної суміші. Обробка отриманих результатів після проведених дослідів здійснювалась за методикою планування експериментів.

Ефективність роботи занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибокого ущільнення бетонних сумішей оцінюється амплітудою A , частотою коливань f та вібраційною потужністю N , яку можна визначити за формулою:

$$N = M_{pr} A^2 \omega^3 = 8\pi^3 M_{pr} A^2 \omega^3, \quad (1)$$

де $M_{pr} = m_k + m_{pr}$ – приведена маса рухомої частини – порожнистого двовипуклого корпусу 1 (m_k) разом із приведеною в рух прилеглою бетонною сумішшю (m_{pr}), яку умовно розраховували за наближеною залежністю $m_{pr} = \frac{2}{3} F_{ef} a \rho_{bet}$ (F_{ef} – ефективна площа порожнистого двовипуклого корпусу 1; a – лінійний розмір сторони корпусу; ρ_{bet} – густина бетонної суміші); ω – циклова частота.

Найбільш важливими показниками факторів впливу на процес глибокого віброущільнення бетонної суміші є:

$$A, \omega, N = f(Q_H, \rho_{bet}, F_{zap}, p_H), \quad (2)$$

де Q_H – подача привідного насоса 9, m^3/c ; ρ_{bet} – густина бетонної суміші, kg/m^3 ; F_{zap} – площа відкриття запірною пристроєм імпульсного клапана 10, m^2 ; p_H – тиск відкриття на злив імпульсного клапана 10, Pa .

Окремі дослідження впливу названих факторів на процес глибокого ущільнення бетонних сумішей досить трудомісткі і вимагають обов'язкового проведення значного обсягу експериментальних робіт, а тому доцільно проведення багатофакторного експерименту для визначення функціонального зв'язку між цими залежностями (2).

З метою розширення можливостей використання результатів даних експериментів для моделювання процесів глибокого



імпульсного ущільнення бетонних сумішей для більш широкого кола конструктивних та технологічних співвідношень здійснено перехід від запропонованих нами факторів до відносних їх параметрів:

$$A, \omega, P = f(v_{\max}, \rho_{bet}, \psi, p_{pr \max}), \quad (3)$$

де $v_{\max} = Q_H / F_M$ – максимальна швидкість ущільнення; $\psi = F_{vdr} / F_{otv}$ – коефіцієнт, що враховує співвідношення площі відкриття площі відкриття запірною пристрою імпульсного клапана 10 до площі поперечного перерізу його вхідного отвору; $p_{pr \max} = p_H F_M / F_{ef}$ – максимальний тиск ущільнення; F_M – ефективна робоча площа мембрани 4 силового гідроциліндра; F_{ef} – ефективна площа

порожнистого двовипуклого порожнистого корпусу 1; F_{otv} – площа поперечного перерізу вхідного отвору імпульсного клапана 10.

Всі фактори, які входять в функції (3), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки, а тому для отримання поверхні відгуку цих функцій виконується операція кодування факторів, що є лінійним перетворенням факторного простору [9,10].

Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний –1, середній 0, максимальний +1 та зіркові значення –2, +2.

Планувалось отримати такі регресійні моделі 2-го порядку [9,10]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + \dots + b_{44}x_4^2, \quad (4)$$

де y – одна із функцій A, ω, N ; $b_0, b_1, \dots, b_4, b_{12}, \dots, b_{34}, b_{11}, \dots, b_{44}$ – коефіцієнти регресії.

За результатами аналізу осцилограм робочого процесу для кожного дослідження, згідно матриці планування експерименту, проводився регресійний аналіз, в результаті якого визначено цільові функції A, ω, N . Після

оброблення результатів планування багатофакторних експериментів, було здійснено перехід від кодованих значень до реальних значень основних факторів цільових функцій і отримані наступні рівняння регресії, а саме:

для амплітуди коливань A :

$$A = -4,898 + 0,00458\rho_{bet} + 0,0562 \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} + 12,51 \cdot 10^{-5} p_H \frac{F_M}{F_{ef}} - 0,764 \frac{Q_H^2}{F_M^2} - 9,091 \cdot 10^{-6} \rho_{bet}^2 - 7,84 \cdot 10^{-10} p_H^2 \frac{F_M^2}{F_{ef}^2}. \quad (5)$$

для циклової частоти ω :

$$\omega = -384,31 + 100335 \frac{Q_H}{F_M} + 2,286\rho_{bet} - 531,6 \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} + 4,48 \cdot 10^{-3} p_H \frac{F_M}{F_{ef}} - 2820,25 \frac{Q_H^2}{F_M^2} - 0,0061\rho_{bet}^2 + 1960,63 \frac{F_{vdr}^2}{F_{otv}^2} - 2,67 \cdot 10^{-8} p_H^2 \frac{F_M^2}{F_{ef}^2}. \quad (6)$$

для визначення вібраційної потужності установки N :

$$N = 13015 + 8321,24 \frac{Q_H}{F_M} - 20,136\rho_{bet} - 13390,75 \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 0,041 p_H \frac{F_M}{F_{ef}} + 260,91 \frac{Q_H}{F_M} \rho_{bet} - 10035,15 \frac{Q_H}{F_M} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 1,31 p_H \frac{Q_H}{F_{ef}} - 83,064\rho_{bet} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} + 7,07 \cdot 10^{-4} \rho_{bet} p_H \frac{F_M}{F_{ef}} + 0,402 p_H \frac{F_M}{F_{ef}} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 2875,375 \frac{Q_H^2}{F_M^2} - 0,110\rho_{bet}^2 + 19002,84 \frac{F_{vdr}^2}{F_{otv}^2} - 2,74 \cdot 10^{-7} p_H^2 \frac{F_M^2}{F_{ef}^2}. \quad (7)$$



Отримані рівняння регресії (5) – (7) можуть бути використані для математичного моделювання імпульсного гідроприводу площинної установки для глибокого ущільнення бетонних сумішей, а також для розробки методики проектного розрахунку конструктивних та технологічних параметрів подібного устаткування.

Висновки. Запропоновано нове конструктивне виконання занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибокого ущільнення бетонних сумішей. На підставі результатів проведених експериментальних досліджень за методикою математичного планування експериментів отримані рівняння регресії основних факторів для цільових функцій, які можуть бути рекомендовані до практичного застосування при проектуванні устаткування інших типорозмірів.

Список використаних джерел

1. Гідравлічний вібратор для глибокого ущільнення бетонної суміші: пат. 17231U Україна: МПК6 В28В01/08. Коц І.В., Сліпенька О.П., Сторожук С.Б., Ніколайчук І.І. № u200603245; заявл. 27.03.06; опубл. 15.09.06, Бюл.№ 13. 4 с.
2. Устройство для виброуплотнения бетонных смесей: а.с. 172844 СССР: МПК5 E04G21/08. Коц И.В., Павленко В.С. №4666921/33; заявл. 27.03.89. получено 27.04.92, Бюл.№ 15. 4 с.
3. Вибрации в технике: Справочник: в 6 т. / ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение, 1981. Т.4. Вибрационные процессы и машины / под. ред. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с.
4. Чубук Ю.Б., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. Київ: Вища школа, 1985. 92 с.
5. Маслов А. Г., Иткин А. Ф., Саленко Ю. С. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей: монография. Кременчуг: ЧП Щербатых А.В, 2014. 324 с.
6. Маслов А.Г., Жанар Батсайхан. Теоретические исследования крестообразного глубинного уплотнителя бетонных смесей. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2019. Випуск 2(115). С. 152 – 158.
7. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин: монография / Иванов М.Е. и др. М.: Машиностроение, 1977. 174 с.

8. Коц И.В. Разработка и исследование клапанов-пульсаторов для гидравлических приводов вибрационных и ударно-вибрационных узлов горных машин: дис...канд. техн. наук: 05.02.03. - Винница, 1994. 227 с.

9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 280 с.

10. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. Розв'язання будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту. Рівне: НУВГП, 2011. 175 с.

References

1. Gidravlichnyj vibrator dlya glybynogo ushil'neniya betonnoyi sumishi: pat. 17231U Ukraina: МПК6 V28B01/08. Kocz I.V., Slipen'ka O.P., Storozhuk S.B., Nikolajchuk I.I. № 200603245; zayavl. 27.03.06; opubl. 15.09.06, Byul. № 13. 4. [In Ukrainian].
2. Ustrojstvo dlya vibrouplotneniya betonnyx smesej: a.s. 172844 SSSR: МПК5E04G21/08. Kocz I.V., Pavlenko V.S. № 4666921/33; zayavl. 27.03.89. polucheno 27.04.92, Byul. № 15. 4. [In Russian].
3. Vibraciyi v texnike (1981): Spravochnik: v 6 t. / red. совет: V. N. Chelomej (pred.). M.: Mashinostroenie, 1981. T. 4. Vibracionnye processy i mashiny / pod. red. E. E. Lavendela. 509. [In Russian].
4. Chubuk Yu.B., Nazarenko I.I., Garnecz V.N. (1985). Vibracionnye mashiny dlya uplotneniya betonnyx smesej. Kyiv: Vyshha shkola. 92. [In Ukrainian].
5. Maslov A. G., Itkin A. F., Salenko Yu. S. (2014). Vibracionnye mashiny dlya prigotovleniya i uplotneniya betonnyx smesej: monografiya. Kremenchug: ChP Shherbatykh A.V. 324. [In Russian].
6. Maslov A.G., Zhanar Batsajxan. (2019). Teoreticheskie issledovaniya krestoobraznogo glubinnogo uplotnitelya betonnyx smesej. *Visnyk KrNU imeni Mykhajla Ostrograd'skogo*. Vypusk 2(115). 152 – 158. [In Russian].
7. Gidroprivod svaepogruzhayushhix i gruntouplotnyayushhix mashin (1977): monografiya / Ivanov M.E. i dr. M.: Mashinostroenie. 174. [In Russian].
8. Kocz I.V. (1994). *Razrabotka i issledovanie klapanovpul'satorov dlya gidravlicheskix privodov vibracionnyx i udarno - vibracionnyx uzlov gornyx mashyn*: dis...kand. texn. nauk: 05.02.03. – Vinnicza,. 227. [In Russian].
9. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. (1976). Planirovanie eksperimenta pri poiske



optimal'nyx uslovij. 2-e izd. pererab. i dop. M.: Nauka, 280. [In Russian].

10. Dvorkin L.J., Dvorkin O.L., Zhytkovs'kyj V.V. (2011). Rozvyazannya budivel'notekhnologichnyx zadach metodamy matematychnogo planuvannya eksperymentu. Rivne: NUVGP, 175. [In Ukrainian].

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DEEP VIBRATORS WITH THE HYDROPULSE DRIVE FOR CONSOLIDATION OF CONCRETE MIXES

Many construction processes that involve concreting work require deep compaction of concrete mixtures. The basic properties and characteristics of building structural elements depend on quality of consolidation of concrete. The highest quality compaction of the concrete mixture is achieved due to the vibration force interaction with the working equipment, which generates vibration oscillations with its working surfaces, which are transmitted to the concrete environment. Under the influence of vibration on the concrete mixture there is a forced oscillation of the particles of the mixture, which is actually a periodic shaking of the system. Being in a suspended state during shaking, the connection of the particle of the solution with other particles is constantly broken. Due to the influence of the force of the shock and under the influence of its own mass when falling, the particles tend to occupy a more compact position in which the impact of the shocks on them is minimal. Due to the denser packaging, the entire concrete mix is compacted. This also disrupts the bond between the particles, reduces the viscosity of the two-phase system, the concrete mixture returns to a temporarily fluid state, ie acquires the so-called thixotropy. Being in a liquid state, the mixture spreads better during vibration and takes the form of a container containing it, followed by compaction under the action of gravity. For each type of concrete mix there are the optimum parameters of influence of vibration (frequency of fluctuations, amplitude, duration) at which quality of products is most effectively provided. Determining the most optimal modes of operation of deep installations for compaction is a rather technically difficult task. The results of experimental research of a new constructive solution of an immersion planar installation with a hydropulse drive for deep compaction of concrete mix in real conditions are given. The results obtained after the experiments were processed according to the experimental planning method. The regression equations which characterize the basic initial parameters of installation from variable factors of influence are received.

Keywords: compaction of concrete; rigid concrete mix; immersion plane installation; hydropulse drive; amplitude; frequency; vibration power

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБИННЫХ ВИБРАТОРОВ С ГИДРОИМПУЛЬСНЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Многие строительные технологические процессы, которые связаны с выполнением бетонных работ требуют глубокого уплотнения бетонных смесей. От качества уплотнения бетона зависят основные свойства и характеристики конструктивных строительных элементов. Наиболее качественное уплотнение бетонной смеси достигается благодаря вибросиловому взаимодействию с рабочим оборудованием, которое генерирует своими рабочими поверхностями вибрационные колебания, передаваемые в окружающую бетонную среду. При воздействии вибрации на бетонную смесь происходит вынужденное колебание частиц смеси, которое фактически является периодическим встряхиванием системы. Находясь во взвешенном состоянии во время встряхивания, связь частицы раствора с другими частицами постоянно нарушается. Благодаря воздействию силы толчка и под влиянием собственной массы при падении, частицы стремятся занять компактное положение, в котором влияние толчков на них минимально. В результате более плотной упаковки вся бетонная смесь уплотняется. При этом также нарушается связь между частицами, снижается вязкость двухфазной системы, бетонная смесь возвращается во временно текучее состояние, то есть приобретает так называемую тиксотропность. Находясь в жидком состоянии, смесь лучше растекается во время вибрирования и принимает форму содержащей ее емкости с последующим уплотнением под действием силы гравитации. Для каждого типа бетонной смеси существуют свои оптимальные параметры воздействия вибрации (частота колебаний, амплитуда, продолжительность), при которых наиболее эффективно обеспечивается качество изделий. Определение оптимальных режимов работы глубинных установок для уплотнения является достаточно технически сложной задачей. Представлены результаты



экспериментального исследования нового конструктивного решения погружной плоскостной установки с гидроимпульсным приводом для глубинного уплотнения бетонной смеси в реальных условиях. Обработка полученных результатов после проведенных опытов производилась по методике планирования экспериментов. Получены уравнения регрессии,

характеризующие основные исходные параметры от изменяющихся факторов воздействия.

Ключевые слова: уплотнение бетона; жесткая бетонная смесь; погружная плоскостная установка; гидроимпульсный привод; амплитуда; частота; вибрационная мощность

Відомості про авторів

Коц Иван Васильевич – канд. техн. наук, профессор кафедры инженерных систем у будівництві, завідувач і науковий керівник науково-дослідної лабораторії гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ORCID: 0000-0003-0870-6385, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Куриленко Юрій Петрович — аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Urakurilenko1@gmail.com

Kots Ivan – Ph.D., Professor of the Department of Engineering Systems in Construction, Head and Supervisor of the Research Laboratory of Hydrodynamics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ORCID: 0000-0003-0870-6385, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Kurylenko Yuriy – graduate student of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Urakurilenko1@gmail.com

Коц Иван Васильевич – канд. техн. наук, профессор кафедры инженерных систем в строительстве, заведующий и научный руководитель научно-исследовательской лаборатории гидродинамики, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, ORCID: 0000-0003-0870-6385, e-mail: ivan.kots.2014@gmail.com

Куриленко Юрій Петрович – аспірант кафедри інженерних систем в строительстве, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, e-mail: Urakurilenko1@gmail.com