

Результати експериментальних досліджень глибинних вібраторів з гідроімпульсним приводом для ущільнення бетонних сумішей

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведені результати дослідження занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибинного ущільнення бетонної суміші. Запропоновано науково-обґрунтований метод обчислення основних параметрів установки.

Ключові слова: ущільнення; жорстка бетонна суміш; занурювальна площинна установка; гідроімпульсний привод

Abstract

The results of research of the immersion planar installation with the hydropulse drive for deep consolidation of concrete mix are resulted. A scientifically substantiated method of calculating the main parameters of the installation is proposed.

Key words: consolidation; rigid concrete mix; immersion plane installation; hydropulse drive

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. Ефективність і якість практичної реалізації глибинного ущільнення бетонних сумішей залежить від конструктивних особливостей та технології застосування обладнання. 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 [1–6]. Внаслідок різних конструктивних недоліків існуюче вібраційне устаткування недостатньо задовольняє поставленим вимогам 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 [1–6].

Мета досліджень – розробка нових конструкцій гідроприводних площинних установок для глибинного ущільнення бетонних сумішей, вивчення особливостей їх функціонування та обґрунтування технології застосування. Передбачається також створення теоретичних основ для розрахунку основних параметрів цього устаткування.

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 рис. 1 (б) – її розріз по А-А [1].

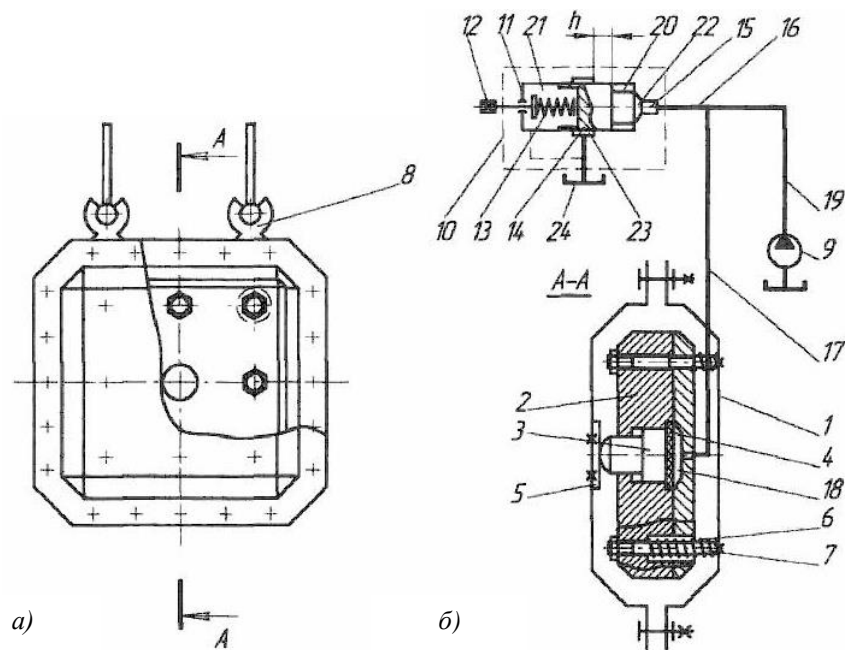


Рис. 1: а) конструктивна схема (загальний вигляд) занурювальної площинної установки з гідроімпульсним приводом для глибинного ущільнення бетонних сумішей; б) її розріз по А-А (двовипуклий порожнистий корпус 1, інерційна маса 2, плунжерний штовхач 3, мембрана 4, упор 5, пружини 6, тяги 7, підвісний шарнір 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 підіймальну 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_n , на яке налаштований гідроімпульсний клапан 10 зусиллям притискання регульованої за допомогою гвинта 12 пружини 13. Зусилля притискання 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 глибинного 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 насоса 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 глибинного 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 глибинного 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, м³/с; ρ_{bet} – густина бетонної суміші, кг/м³; F_{zap} – площа відкриття запірної пристрою імпульсного клапана 10, м²; p_H – тиск відкриття на злив імпульсного клапана 10, Па.

Окремі дослідження впливу названих факторів на процес глибинного 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 глибинного 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 запірної 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 [7].

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 [7]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \dots + b_{34} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \dots + b_{44} x_4^2, \quad (4)$$

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 дослідів, 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 :

$$\omega = -384,31 + 1003,35 \frac{Q_H}{F_M} + 2,286 \rho_{bet} - 531,6 \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} + 4,48 \cdot 10^{-3} p_H \frac{F_M}{F_{ef}} - \\ - 2820,25 \frac{Q_H^2}{F_M^2} - 0,0061 \rho_{bet}^2 + 1960,63 \frac{F_{vdr}^2}{F_{otv}^2} - 2,67 \cdot 10^{-8} p_H^2 \frac{F_M^2}{F_{ef}^2}. \quad (6)$$

для визначення вібраційної потужності установки N :

$$N = 1301,5 + 8321,24 \frac{Q_H}{F_M} - 20,136 \rho_{bet} - 13390,75 \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 0,041 p_H \frac{F_M}{F_{ef}} + 260,91 \frac{Q_H}{F_M} \rho_{bet} - \\ - 100351,5 \frac{Q_H}{F_M} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 1,31 p_H \frac{Q_H}{F_{ef}} - 83,064 \rho_{bet} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} + 7,07 \cdot 10^{-4} \rho_{bet} p_H \frac{F_M}{F_{ef}} + \\ + 0,402 p_H \frac{F_M}{F_{ef}} \frac{F_{vdr}}{F_{otv}} - 28753,75 \frac{Q_H^2}{F_M^2} - 0,110 \rho_{bet}^2 + 19002,84 \frac{F_{vdr}^2}{F_{otv}^2} - 2,74 \cdot 10^{-7} p_H^2 \frac{F_M^2}{F_{ef}^2}. \quad (7)$$

Отримані рівняння регресії (5) – (7) можуть бути використані для математичного моделювання імпульсного гідроприводу площинної установки для глибинного 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 глибинного 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 ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України № 17231 У, МПК(2006), В 28 В 1/08. Гідравлічний вібратор для глибинного ущільнення бетонної суміші / І.В. Коц, О.П. Сліпенка, С.Б. Сторожук, І.І. Ніколайчук – u200603245; Заявл. 27.03.2006. Одерж. 15.09.2006.
2. А.с. СССР № 172844, МПК(1989), Е 04 G 21/08. Устройство для виброуплотнения бетонных смесей / И.В. Коц, В.С. Павленко – 4666921/33; Заявл. 27.03.1989. Получено 27.04.1992.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти 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. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М.Е. Иванов, И.Б. Матвеев, И.В. Коц и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 174 с.
5. Стефанов Б.В., Русанова Н.Г., Волянский А.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. К.: Вища школа, 1982.– 166 с.
6. 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.
7. 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.

Куриленко Юрій Петрович — аспірант кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Urukurilenko1@gmail.com.

Коц Іван Васильович – канд. техн. наук, професор кафедри інженерних 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.

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

Kots Ivan V. – 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.