

# МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 629.114.4; 621.61/85

І. В. Коц, к. т. н., доц.;

О. В. Березюк, к. т. н.

## ВІБРАЦІЙНИЙ ГІДРОПРИВОД ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

Запропоновано спосіб підвищення ефективності перевезень промислових відходів до місць складування і утилізації за рахунок збільшення коефіцієнта їх ущільнення в бункерах спеціалізованого автомобіля-сміттєвоза. Підвищення ступеня ущільнення досягається внаслідок застосування вібраційного пресового устаткування з гідроприводом. Описано будову та принцип дії вібраційного пресового устаткування, викладено результати комплексних досліджень приводу пресування і оптимізації його параметрів, які можуть бути використані на етапі проектування аналогічного устаткування.

Відходи виробництва і споживання є джерелами антропогенного забруднення навколишнього середовища в глобальному масштабі і виникають як неминучий результат споживчого відношення і надто низького коефіцієнта використання ресурсів. Наприклад, у колишньому СРСР протягом року кольорова металургія видобувала близько 2 млрд. т. гірських порід, а товарна продукція із них складала близько 1 %. В Україні переходять у відходи майже 80–85 % або 20–30 млрд т переробленої сировини із щорічним її приростом в межах до 2 млрд т у гірничодобувній, хімічній, металургійній та паливно-енергетичній галузях. З них понад 200 млн т складають токсичні та інші небезпечні відходи. Щорічно площі, зайняті відходами, збільшуються на 50 тис. га [5].

Насипна щільність промислових відходів (ПВ) змінюється в широких межах. Тому перед транспортуванням відходів обов'язково виконується операція їх ущільнення. Чим вищий коефіцієнт ущільнення, тим краще використовується об'єм бункера та вантажопідйомність спеціального автомобіля-сміттєвоза. У кращих зразках вітчизняного виробництва відходи вдається ущільнювати лише в 2,2 рази.

Використання вібраційного пресування дозволяє суттєво збільшити коефіцієнт ущільнення ПВ порівняно з статичним пресуванням при тих же значеннях робочого тиску в гідросистемі [3].

На роботу гідроприводу устаткування для пресування та ущільнення суттєво впливають пружно-пластичні властивості ПВ. Теоретично описати процес ущільнення ПВ досить

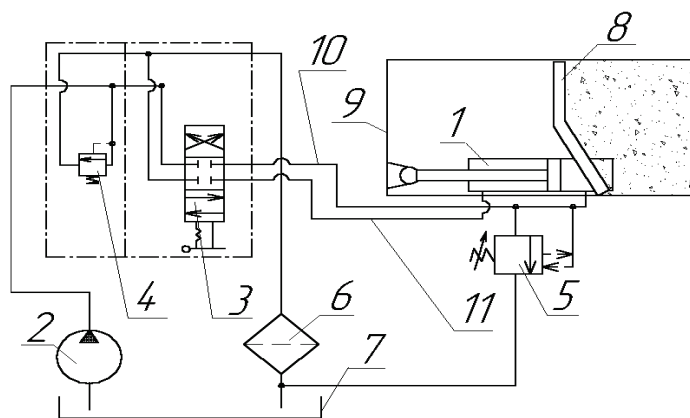


Рис. 1. Схема вібраційного гідроприводу ущільнювального устаткування

складно внаслідок неоднорідності їх складу, а також наявності пружних та пластичних компонентів, які ущільнюються за різними законами. Тому, на наш погляд, доцільно виконати експериментальні дослідження з визначення пружно-пластичних властивостей ПВ у вигляді залежності між відносною деформацією ПВ  $\epsilon$  та тиском пресування  $p$  при регулюванні параметрів вібраційного гідроприводу, який, на нашу думку, є найпродуктивнішим [2]. Ця

залежність необхідна для подальшої оптимізації параметрів вібраційного гідроприводу для пресування з метою підвищення продуктивності техніки для перевезення ПВ через збільшення коефіцієнта їх ущільнення.

На рис. 1 зображена схема вібраційного гідроприводу ущільнювальної плити устаткування для пресування ПВ [4].

Вібраційний гідропривід ущільнювального устаткування для пресування ПВ включає гідронасос 2, який через живильну напірну магістраль, гідророзподільник 3 пов'язаний з магістралями 10 і 11, що підведені до робочих камер гідроциліндра 1 з плитою для пресування 8, а через запобіжний клапан 4 і фільтр 6 з'єднаний з баком 7. Причому до магістралі 10 приєднаний клапан-пульсатор – генератор імпульсів тиску (ГІТ) 5. На схемі також показано кузов спеціального автомобіля – сміттєвоза 9, в який завантажуються промислові відходи.

Вібраційний гідропривід ущільнювального устаткування для пресування ПВ працює таким чином: після завантаження твердих промислових відходів в кузов спеціального автомобіля 9 здійснюється їх ущільнення плитою для пресування 8, яка переміщується за допомогою гідроциліндра 1. Живлення гідросистеми здійснюється від гідронасоса 2. Керування напрямком руху гідроциліндра здійснюється гідророзподільником 3. Клапан-пульсатор 5 забезпечує генерування імпульсів тиску для вібраційного пресування та ущільнення промислових відходів. При перевищенні тиску в гідросистемі спрацьовує запобіжний клапан 4, який через фільтр 6 зливає частину робочої рідини в маслобак 7.

За допомогою експериментальної установки [2], яка реалізує статичний спосіб пресування, проведено серію експериментів, в результаті якої отримано залежність між тиском пресування  $p_B$  та відносною деформацією ПВ  $\varepsilon$  у вигляді степеневого рівняння регресії

$$p_B = A + B\varepsilon^C, \tag{1}$$

де  $A, B, C$  – коефіцієнти регресії.

Коефіцієнти регресії рівняння (1), в свою чергу, є функціями факторів впливу на процес пресування ПВ

$$A, B, C = f(v_{max}, \Phi, \rho_B, \varphi, p_{Bmax}), \tag{2}$$

де  $v_{max} = Q_H/S_{Ц1}$  – максимальна швидкість пресування, м/с;  $\Phi = x_{max}/\sqrt{S_{П}}$  – коефіцієнт форми бункера для ПВ;  $\varphi = S_{Др}/S_1$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення площі відкриття дроселя ГІТ до площі поперечного перерізу вхідного отвору ГІТ;  $p_{Bmax} = p_{кл1}S_{Ц1}/S_{П}$  – максимальний тиск пресування, Па;  $Q_H$  – подача гідронасоса, м<sup>3</sup>/с;  $S_{Ц1}$  – ефективна площа напірної порожнини гідроциліндра, м<sup>2</sup>;  $x_{max}$  – максимальне переміщення гідроциліндра, м;  $S_{П}$  – ефективна площа плити для пресування, м<sup>2</sup>;  $S_{Др}$  – площа відкриття дроселя ГІТ (визначає частоту коливань), м<sup>2</sup>;  $S_1$  – площа поперечного перерізу вхідного отвору ГІТ, м<sup>2</sup>;  $p_{кл1}$  – тиск відкриття клапана ГІТ (визначає амплітуду коливань), Па.

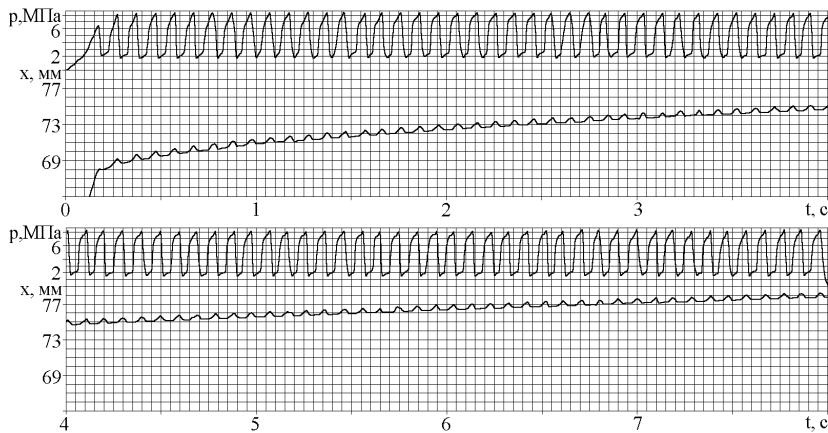


Рис. 2. Типова осцилограма зміни тиску  $p$  в напірній магістралі силового гідроциліндра та переміщення  $x$  плити під час вібраційного пресування ПВ

З метою зменшення кількості дослідів для визначення коефіцієнтів рівняння регресії (2) використовувалося планування багатофакторного експерименту з використанням дрібнофакторного плану виду  $2^{5-1}$  методом Бокса-Уілсона [1].

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (2) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність в передбачених планом експерименту діапазонах могла бути реалізована і не приводила до протиріч. Для цього було проведено попередні експерименти для визначення області, в якій необхідні нам сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Всі фактори, які входять в функції (2), є величинами, що мають неоднакову розмірність, а значення цих величин факторів мають різний порядок. Тому, для отримання поверхні відгуку цих функцій, було проведено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [1]. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний  $-1$ , середній  $0$ , максимальний  $+1$  та зіркові значення  $-2$ ,  $+2$ . Істинні значення факторів встановлено на основі проведення пошукових експериментів. Проведено дрібнофакторний експеримент виду  $2^{5-1}$  з головною  $1/2$ -реплікою ( $x_5 = x_1x_2x_3x_4$ ).

Обробка експериментальних даних виконувалась за допомогою методу найменших квадратів. Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера. Перевірка закону розподілу експериментальних значень в кожній серії повторних дослідів проводилась за критерієм Кохрена. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії проводилась за t-критерієм Стьюдента.

Типова осцилограма зміни тиску в напірній магістралі силового гідроциліндра та переміщення плити під час вібраційного пресування ПВ показана на рис. 2. При цьому амплітуда коливань складала  $A = 0,45 \dots 0,8$  мм, а частота  $\nu = 10,8$  Гц.

В результаті обробки експериментальних даних для дійсних значень факторів після відкидання незначних факторів та ефектів взаємодій отримано такі рівняння регресії для коефіцієнтів  $A, B, C$ :

$$A = 1774,117 + 0,09206\rho - 0,00257 p_{кл1} S_{Ц1}/S_{П} - 0,0038 Q_{Н}^2/S_{Ц1}^2 - 0,4854 x_{max}^2/S_{П} - 0,001576\rho^2 - 63,06 S_{др}^2/S_1^2 - 1,066 \cdot 10^{-10} p_{кл1}^2 S_{Ц1}^2/S_{П}^2; \quad (3)$$

$$B = 9813,11 + 223,1 x_{max}/\sqrt{S_{П}} - 0,8612 p_{кл1} S_{Ц1}/S_{П} - 0,8189 Q_{Н}^2/S_{Ц1}^2 - 114,7 x_{max}^2/S_{П} - 0,03341\rho^2 - 12806 S_{др}^2/S_1^2 - 2,3 \cdot 10^{-8} p_{кл1}^2 S_{Ц1}^2/S_{П}^2; \quad (4)$$

$$C = 5586 - 18,6\rho - 0,1199 \frac{Q_{Н}^2}{S_{Ц1}^2} - 0,005134\rho^2 - 1942 \frac{S_{др}^2}{S_1^2} - 3,306 \cdot 10^{-9} p_{кл1}^2 \frac{S_{Ц1}^2}{S_{П}^2}. \quad (5)$$

На основі рівнянь (3–5) отримано рівняння регресії відносно  $k_y$  для кодованих значень параметрів

$$k_y = \frac{1}{1 - \left[ (p_B - A(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)) / B(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \right]^{1/C(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)}}. \quad (6)$$

За допомогою пакета прикладних програм MathCAD було проведено оптимізацію коефіцієнта ущільнення ПВ  $k_y$  шляхом його максимізації ( $k_y \rightarrow \max$ ). В результаті отримані такі оптимальні значення параметрів гідроприводу плити для пресування з використанням ГПТ:  $v_{max} = 0,1146$  м/с;  $\Phi = 0,862$ ;  $\phi = 0,098$ ;  $p_{Bmax} = 6,521 \cdot 10^5$  Па. При цьому досягається максимально можливий коефіцієнт ущільнення ПВ  $k_y = 2,685$ .

На рис. 3 показано поверхні відгуку коефіцієнта пресування ПВ в залежності від кодованих значень параметрів вібраційного гідроприводу пресування ПВ в площині окремих параметрів оптимізації ( $v_{max} - \phi, \Phi - \phi, \Phi - p_{Bmax}$ ), до яких система найбільш чутлива.

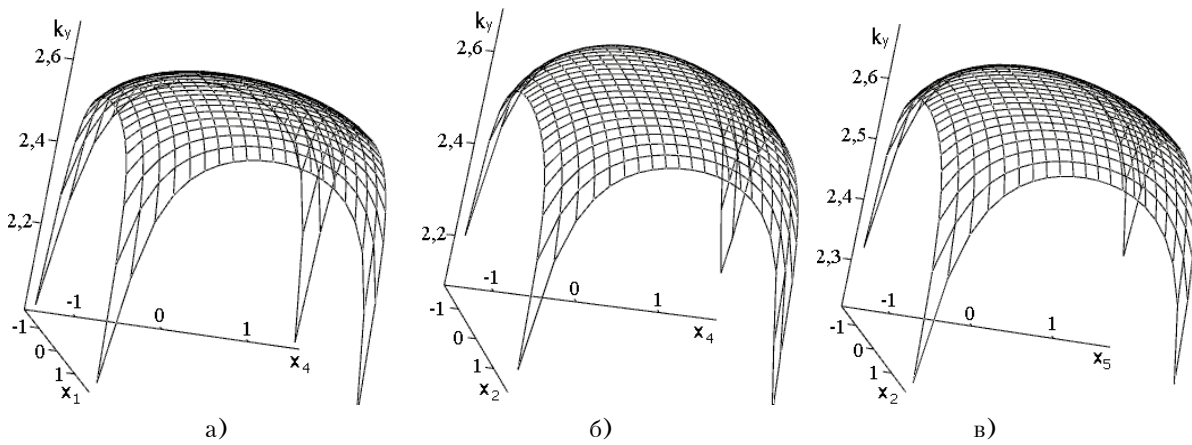


Рис. 3. Поверхні відгуку коефіцієнта пресування ПВ в залежності від кодованих значень параметрів вібраційного гідроприводу пресування ПВ в площинах: а)  $x_1 - x_4$ ; б)  $x_2 - x_4$ ; в)  $x_2 - x_5$

### Висновки

1. Впровадження вібраційного гідроприводу для пресування промислових відходів у сміттєвозах дозволяє отримати економію пального на один транспортний засіб за рік близько 2 т.

2. Оптимізація параметрів вібраційного гідроприводу за критерієм продуктивності техніки для їх перевезення через збільшення коефіцієнта ущільнення ПВ показала доцільність виготовлення приводу з такими параметрами:  $v_{\max} = 0,1146$  м/с;  $\Phi = 0,862$ ;  $\varphi = 0,098$ ;  $p_{B\max} = 6,521 \cdot 10^5$  Па.

3. Отримані на підставі застосування методу планування багатofакторного експерименту результати надали можливість здійснювати вибір оптимальних параметрів гідроприводу на етапі проектування устаткування для ущільнення промислових відходів та інших сипучих матеріалів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Савуляк В. І., Березюк О. В. Технічні проблеми збирання та транспортування твердих побутових відходів // Пр. IV Міжнародної науково-практичної конф. «Проблеми збору, переробки та утилізації відходів». — Одеса, 2002. — С. 188—191.
3. Матвеев И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия. — М.: Машиностроение, 1974. — 184 с.
4. Патент України № 61580 А, МПК7 В 65 F 3/20. Гидропривод ущільнюючої плити сміттєвоза / В. І. Савуляк, О. В. Березюк — 2003032027; Заявл. 07.03.2003. Одерж. 17.11.2003.
5. Максимов И. Е. Состояние и перспективы использования экозащитных систем в решении проблем отходов // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки — аналитические обзоры. Новосибирск, 1995. — С. 54—58.

**Коц Іван Васильович** — доцент кафедри теплогазопостачання, завідувач НДІ гідродинаміки.

**Березюк Олег Володимирович** — старший викладач кафедри менеджменту у будівництві, охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет