

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-182-190  
УДК 693.6.002.5

**Шаповал М.В., Вірченко В.В., Скорик М.О., Криворот А.І.,**  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(Першотравневий пр-т, 24, Полтава, 36000, Україна; e-mail: [mvshapoval75@ukr.net](mailto:mvshapoval75@ukr.net),  
[virchenko.viktor@gmail.com](mailto:virchenko.viktor@gmail.com), [maxym.skoryk@gmail.com](mailto:maxym.skoryk@gmail.com), [anatoliikryvorot@gmail.com](mailto:anatoliikryvorot@gmail.com);  
[orcid.org/0000-0002-6943-7687](https://orcid.org/0000-0002-6943-7687), [orcid.org/0000-0002-5346-9545](https://orcid.org/0000-0002-5346-9545), [orcid.org/0000-0001-9001-4913](https://orcid.org/0000-0001-9001-4913),  
[orcid.org/0000-0001-5919-7352](https://orcid.org/0000-0001-5919-7352))

## АНАЛІЗ РОБОТИ ОДНОПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОНАСОСА НА ОСНОВІ ТРЬОХФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті розглядається розчинонасос з електромеханічним приводом, кульовими всмоктувальним і підпружиненим нагнітальним клапанами, спеціальною вставкою у всмоктувальній камері та компенсатором збільшеного об'єму. Проведено аналіз роботи розчинонасоса з різними конструктивними рішеннями гідравлічної частини розчинонасоса. На основі трьохфакторного експерименту встановлено раціональні геометричні параметри клапанних вузлів та всмоктувальної камери з урахуванням спеціальної вставки. А також визначено продуктивність, об'ємний ККД розчинонасоса.

Визначено області раціональних режимів роботи розчинонасоса.

**Ключові слова:** розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму, спеціальна циліндрична вставка, продуктивність, об'ємний ККД, потужність, рухомість розчину, клапан.

**Вступ.** Аналіз сучасних насосів вказує на необхідність вдосконалення гідравлічної частини конструкції розчинонасосів, що вплине на зниження до мінімуму пульсацій тиску розчину у трубопроводі під час транспортування та зростання рівня об'ємного ККД.

У однопоршневих розчинонасосах при перекачуванні розчинів зниженої рухомості спостерігається зниження рівня об'ємного ККД. Це пояснюється збільшеним об'ємом зворотних витоків через всмоктувальний та нагнітальний клапани, які спричинені запізніним опусканням кульки клапанів на сідло клапанів через зростаючу щільність розчинів.

Тому необхідно конструктивно вдосконалити конструкцію гідравлічної частини розчинонасоса підвищеної надійності, встановити механізм взаємодії клапанних вузлів з перекачуванням середовищем залежно від закону руху робочого органа та підтвердити експериментальними дослідженнями на основі багатофакторного експерименту.

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є підвищення ефективності роботи однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму за рахунок вдосконалення всмоктувальної камери при режимах його роботи.

Для досягнення визначеної мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Теоретично дослідити вплив закону руху робочого органа на спрацювання клапанів розчинонасоса.

2. На основі трьохфакторного експерименту визначити максимально допустимі значення основних показників роботи розчинонасоса з раціональною удосконаленою конструкцією усмоктувальної камери з урахуванням комбінованого компенсатора збільшеного об'єму: продуктивності, об'ємного ККД.

**Об'єктом досліджень** є робочі процеси однопоршневого розчинонасоса при перекачуванні будівельних розчинів з урахуванням пульсацій тиску, які мають місце при русі по трубопроводу.

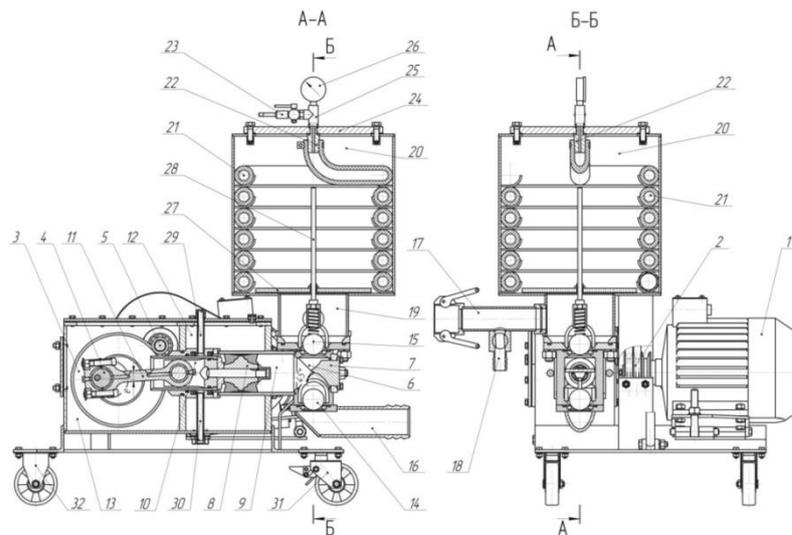
**Предметом досліджень** є однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму.

**Методи досліджень.** При виконанні досліджень були використані: основні положення гідравліки, гідродинаміки, методи математичної фізики, фізико-математичне моделювання методами прикладної механіки, статистична обробка експериментальних даних, методи планувального експерименту, комп'ютерне програмування Microsoft Office, Компас 3D, MathCAD 14, Maple 17.

**Результати дослідження.** Експериментально досліджено та аналітично встановлено механізм взаємодії перекачуваного середовища з кульками всмоктувального і нагнітального клапанів залежно від закону руху робочого органа розчинонасоса, а також вплив спеціальної вставки у всмоктувальній камері на потік розчину. Визначено фактори, що впливають на продуктивність, об'ємний ККД і рівень ступеню пульсацій тиску розчину з урахуванням реологічних властивостей розчину, тиску подачі розчину при використанні комбінованого компенсатора збільшеного об'єму.

**Основний матеріал.** Аналіз роботи існуючих розчинонасосів показав, що необхідно вдосконалити гідравлічну частину розчинонасоса для стабільного перекачування по трубопроводах будівельних розчинів зниженої рухомості при помірних пульсаціях підвищеному рівні продуктивності і об'ємного ККД та завдяки використанню комбінованого компенсатора.

У Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» було розроблено однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму, що має електромеханічний привод, який зарекомендував себе як надійна і високоефективна об'ємна машина. Але перекачування розчинонасосом розчинів зниженої рухомості не в повній мірі задовольняє сучасним вимогам нижче рівня  $\delta \geq 25\%$ .



1 – електродвигун; 2 – клинопосова передача; 3 – зубчасте колесо; 4 – кривошипний вал; 5 – вал-шестерня; 6 – всмоктувальна камера; 7 – спеціальна циліндрична вставка; 8 – поршень; 9 – робочий циліндр; 10 – повзун; 11 – шатун; 12 – камера; 13 – корпус редуктора; 14, 15 – всмоктувальний та нагнітальний підпружинений кульові клапани; 16, 17 – всмоктувальний і нагнітальний патрубкі; 18 – кран зниження тиску; 19 – нагнітальна камера; 20 – циліндрична камера; 21 – замкнена камера; 22 – штуцер вузла підкачки повітря; 23 – ніпель; 24 – кришка; 25 – кран; 26 – манометр; 27 – поплавко-обмежувач; 28 – направляючий стрижень; 29, 30 – каналні патрубкі; 31, 32 – пара коліс.

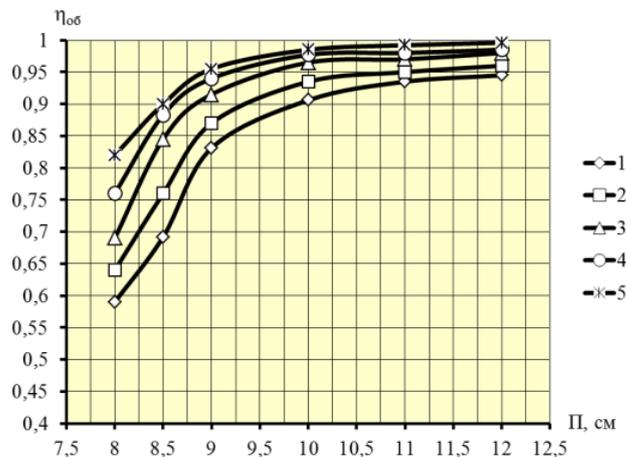
Рис. 1. Однопоршневий розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму

Але під час перекачування розчинів зниженої рухомості П8 – П9 для підвищення рівня об'ємного ККД провести конструктивні зміни гідравлічної частини розчинонасоса, а саме: встановити у всмоктувальну камеру спеціальну вставку під певним кутом, яка забезпечить направлений струмінь розчину на верхню міделеву частину кульки всмоктувального клапана, що пришвидше його закриття в такті нагнітання; здійснити підпружинення нагнітального і по можливості всмоктувального клапана, яке повинно забезпечити більш швидке спрацювання на закриття. Ці конструктивні зміни повинні зменшити зворотні витoki через всмоктувальний та нагнітальний клапани за рахунок швидшого підйому

та опускання кульок біля «мертвих» точок руху робочого органа, що позитивно вплине на зростання об'ємного ККД та на зниження рівня ступеня пульсацій тиску розчину  $\delta \leq 25\%$ .

Метою експериментальних досліджень є оптимізація конструктивних параметрів робочої камери і всмоктувального та нагнітального клапана необхідних для максимального підвищення об'ємного ККД.

Дані проведених експериментів свідчать про те, що об'ємний ККД розчинонасоса у першу чергу залежить від рухомості перекачуваного розчину, а також вказують на підвищення об'ємного ККД при перекачуванні густих розчинів, яке зумовлене більш швидким спрацьовуванням нагнітального та всмоктувального клапана.



1 – непідпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани без усіченого циліндру та перегородки; 2 - непідпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани з встановленими усіченим циліндром та перегородкою; 3 – тільки з підпружиненим нагнітальним клапаном; 4 – підпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани з встановленими усіченим циліндром та перегородкою; 5 – підпружинені нагнітальний клапан з встановленими усіченим циліндром та перегородкою

Рис. 2. Графіки залежності об'ємного ККД розчинонасоса від рухомості перекачуваного розчину при різних конструктивних елементах робочої камери і клапанів

При проведенні експериментальних досліджень здійснювалося варіювання конструктивними елементами, які встановлювалися у робочу камеру. Необхідно приділити увагу роботі всмоктувального та нагнітального клапанів, як вільно діючих, так і підпружинених. Щоб проаналізувати, який із конструктивних елементів впливає на об'ємний ККД, дослідження проводили змінюючи окремо кожний елемент (рис. 2, табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри об'ємного ККД розчинонасоса з урахуванням рухомості перекачуваного розчину, конструктивних елементів робочої камери і клапанів, що впливають на ефективність роботи розчинонасосу

Рухомість розчину	ККД розчинонасоса з урахуванням конструктивних елементів робочої камери і клапанів				
	непідпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани без спеціальної вставки	непідпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани з встановленою спеціальною вставкою	тільки з підпружиненим нагнітальним клапаном	підпружинені нагнітальний і всмоктувальний клапани з встановленою спеціальною вставкою	підпружинені нагнітальний клапан з встановленою спеціальною вставкою
П 8	59	64	69	76	82
П 8,5	69,2	76	84,5	88,3	90
П 9	83,1	87	91,5	94	95,5
П 10	90,6	93,5	96,5	97,7	98,5
П 11	93,5	95	97	98	99,2
П 12	94,5	96	98	98,5	99,6

Дослідження показали, що об'ємний ККД з підпружиненим нагнітальним клапаном (крива 3, рис. 2) значно вище ніж конструкція з клапанами вільної дії (крива 1, рис. 2). Особливо підвищення об'ємного ККД спостерігається при перекачуванні розчинів зниженої рухомості з П 8 до 9 см.

Для зменшення «шкідливого» об'єму робочої камери, а також спрямування потоку розчину у напрямку всмоктувального клапана (більш швидке спрацювання на закриття і тим самим зменшення зворотних витоків під час нагнітання розчину) було встановлено у всмоктувальну камеру спеціальну вставку рис. 1 поз. 7 з основою у вигляді усіченого циліндра, в результаті чого збільшився об'ємний ККД розчинонасоса (крива 2, рис. 2).

Підпружинення всмоктувального та нагнітального клапанів, а також введення усіченого циліндру та перегородки в робочу камеру (крива 4, рис. 2), значно підвищило об'ємний ККД та зменшило зворотні витoki через клапани.

Але, якщо порівнювати з результатами досліджень конструкції тільки з підпружиненим нагнітальним клапаном та встановленою в робочу камеру спеціальною вставкою (крива 5, рис. 2) – підпружинення всмоктувального клапана не дало суттєвого збільшення об'ємного ККД (крива 4, рис. 2). Це пояснюється гальмуванням пружного елемента через його невисоку жорсткість в малорухомих розчинах (нижче П 8,5 см), що призводить до зменшення швидкості опускання всмоктувального клапана на сідло. Також розміщення пружини в усмоктувальному тракті створює додатковий опір проходженню розчину через сідло всмоктувального клапана в робочу камеру розчинонасоса, що знижує всмоктувальну здатність розчинонасосу та недозаповнення всмоктувальної камери.

Тому раціональною схемою всмоктувальної камери розчинонасосу є підпружинення нагнітального клапану і встановлення у всмоктувальну камеру спеціальної вставки. При даних конструктивних елементах до мінімуму зведені зворотні витoki розчину через клапани, а також зменшено «шкідливий» об'єм всмоктувальної камери.

Після проведення попередніх експериментальних досліджень, було визначено, найбільш вагомими факторами, які впливають на ефективність роботи розчинонасоса. Такими факторами є: рухомість розчину; середній тиск подачі розчину; кут нахилу спеціальної вставки, що встановлюється у всмоктувальну камеру. Визначено діапазони зміни вказаних параметрів, тобто інтервали варіювання, в межах яких спостерігається найвища або різка зміна значень ефективності роботи розчинонасосу. Особливо швидка зміна об'ємного ККД здійснюється при рухомості П8 – 10 см та різних кутах нахилу спеціальної вставки (від 30° до 60°).

Тому, у якості «нульового рівня», були прийняті такі значення параметрів: П9 см,  $p = 1,5$  МПа,  $\beta = 45^\circ$ , інтервали варіювання яких наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри, які впливають на ефективність роботи розчинонасосу та їх інтервали варіювання

№	Найменування	Позначення	Розмірність	Верхній рівень (+)	Нульовий рівень (0)	Дробний рівень (-0,5)	Нижній рівень (-)	Інтервал варіювання
X <sub>1</sub>	Рухомість розчину	П	см	10	9	8,5	8	1
X <sub>2</sub>	Середній тиск подачі розчину	$p$	МПа	2,5	1,5	–	0,5	1
X <sub>3</sub>	Кут нахилу спеціальної вставки	$\beta$	град.	60	45	–	30	15

У результаті статистичної обробки (додаток А) було отримане рівняння, яке пов'язує об'ємний ККД розчинонаосу з факторами, що впливають на його ефективність роботи. Для точності розрахунку було введено для рухомості суміші дробний рівень  $-0,5$  (П8,5 см), так як на інтервалі рухомостей розчину від П8 см до П9 см відбувається різке підвищення об'ємного ККД розчинонаосу.

Оскільки вплив дії наведених параметрів на об'ємний ККД відрізняється від лінійного, було вибрано трирівневий нелінійний дробний план проведення експерименту для  $k = 3$ . У випадку, якщо побудована модель не буде відповідати проведеним дослідом (не буде адекватна), слід використовувати плани іншого вигляду. Для спрощення записів і наступних розрахунків верхній рівень варіювання факторів позначається символом (+1), середній рівень – (0), нижній – (-1), дробний – (-0,5). Вказаний запис переводить параметри варіювання у новий кодовий масштаб за формулою

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \quad (1)$$

де  $x_i$  – значення  $i$ -го фактору в новому кодовому масштабі;  $X_i$  – значення  $i$ -го фактору в натуральному масштабі;  $X_{i0}$  – основний рівень  $i$ -го фактору;  $\Delta X_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактору.

Експерименти проводимо відповідно до плану (табл. 3) наприклад, для першого досліді рухомість перекачувального розчину  $X_1$  має значення «-1» – 8 см, середній тиск подачі розчину  $X_2$  має значення «-1» – 0,5 МПа, кут нахилу спеціальної вставки має значення «-1» –  $30^\circ$ . При виконанні експериментів, доцільно, досліди в нульовій точці (всі фактори на «нульовому» рівні) рівномірно розподіляти між іншими, дублюючи їх через кожні 4-5 дослідів.

Результати дослідів обробляють з використанням методів математичної статистики, одержуючи при цьому алгебраїчне рівняння, яке відображає зв'язок між об'ємним ККД  $\eta_{об}$  у розчинонаосу та вихідними факторами

$$\begin{aligned} \eta_{об} = & 0,964 + 0,155 \left( \frac{X_1 - 9}{1} \right) - 0,0008224 \left( \frac{X_2 - 1,5}{1} \right) + 0,056 \left( \frac{X_3 - 45}{15} \right) - \\ & - 0,086 \left( \frac{X_1 - 9}{1} \right)^2 - 0,073 \left( \frac{X_2 - 1,5}{1} \right)^2 - 0,072 \left( \frac{X_3 - 45}{15} \right)^2 - 0,009488 \left( \frac{X_1 - 9}{1} \right) \left( \frac{X_2 - 1,5}{1} \right) + \\ & + 0,021 \left( \frac{X_1 - 9}{1} \right) \left( \frac{X_3 - 45}{15} \right) + 0,012 \left( \frac{X_2 - 1,5}{1} \right) \left( \frac{X_3 - 45}{15} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Подальше перетворення рівняння (2) дає такий результат

$$\eta_{об} = -7,8831044 + 1,654232X_1 + 0,2675696X_2 + 0,018733X_3 - 0,086X_1^2 - 0,073X_2^2 - 0,00032X_3^2 - 0,009488X_1X_2 + 0,0014X_1X_3 + 0,0008X_2X_3 \quad (3)$$

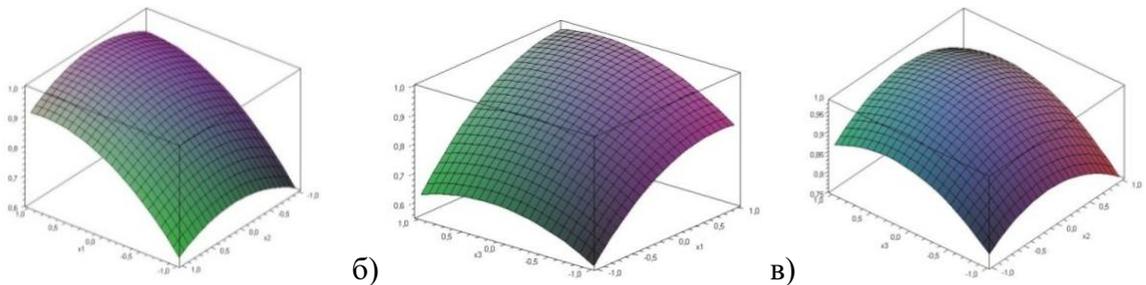
Користуючись цим рівнянням, одержуємо можливість визначення об'ємного ККД розчинонаосу при проведенні обмеженої кількості дослідів.

На підставі отриманого рівняння наведені 2- D і 3-D графічні залежності об'ємного ККД розчинонаосу від факторів впливу, що впливають на його ефективність (рис. 3-6).

Таблиця 3 – План проведення експерименту

№ дос- ліду	Матриця планування ( $x_i$ )			Квадрати параметрів ( $x_i^2$ )			Взаємодії ( $x_i x_j$ )		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
3	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
4	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
5	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1
6	-0,5	-1	0	0,25	1	0	0,5	0	0
7	-0,5	0	-1	0,25	0	1	0	0,5	0
8	-0,5	0	0	0,25	0	0	0	0	0
9	-0,5	0	1	0,25	0	1	0	-0,5	0
10	-0,5	1	0	0,25	1	0	-0,5	0	0
11	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1
12	0	-1	1	0	1	1	0	0	-1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	1	0	0	0	0
17	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
18	0	0	1	0	0	1	0	0	0
19	0	0	-1	0	0	1	0	0	0
20	0	1	-1	0	1	1	0	0	-1
21	0	1	1	0	1	1	0	0	1
22	0	1	1	0	1	1	0	0	1
23	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0
24	1	0	-1	1	0	1	0	-1	0
25	1	0	0	1	0	0	0	0	0
26	1	0	1	1	0	1	0	1	0
27	1	1	0	1	1	0	1	0	0

\* Сірим виділено фактори при їх середньому значенні.



а) Залежність об'ємного ККД розчинонасоса: а) від осадки конуса розчину та середнього тиску подачі розчину; б) від осадки конуса розчину та кута нахилу перегородки усіченого циліндру, що був введений у робочу камеру; в) від середнього тиску подачі розчину та кута нахилу перегородки усіченого циліндру, що був введений у робочу камеру

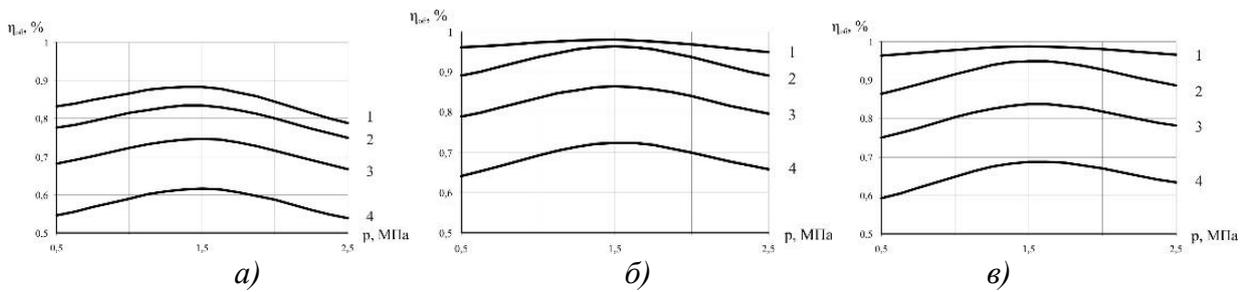


Рис. 4. Залежність об'ємного ККД  $\eta_{об}$  від середнього тиску подачі розчину,  $p$  МПа, при: а)  $\beta^0 = 30^\circ$ ; б)  $\beta^0 = 45^\circ$ ; в)  $\beta^0 = 60^\circ$ . 1 –  $\Pi=10$  см; 2 –  $\Pi=9$  см; 3 –  $\Pi=8,5$  см; 4 –  $\Pi=8$  см.

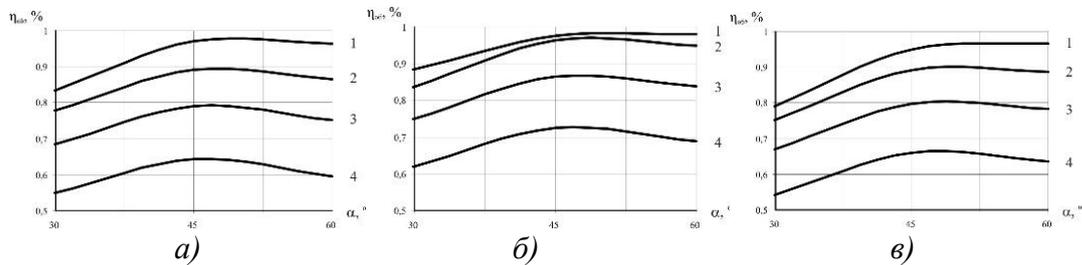


Рис. 5. Залежність об'ємного ККД  $\eta_{об}$  від кута нахилу спеціальної вставки, що була встановлена у всмоктувальну камеру  $\beta^0$ , при: а)  $p = 0,5$  МПа; б)  $p = 1,5$  МПа; в)  $p = 2,5$  МПа. 1 –  $\Pi=10$  см; 2 –  $\Pi=9$  см; 3 –  $\Pi=8,5$  см; 4 –  $\Pi=8$  см.

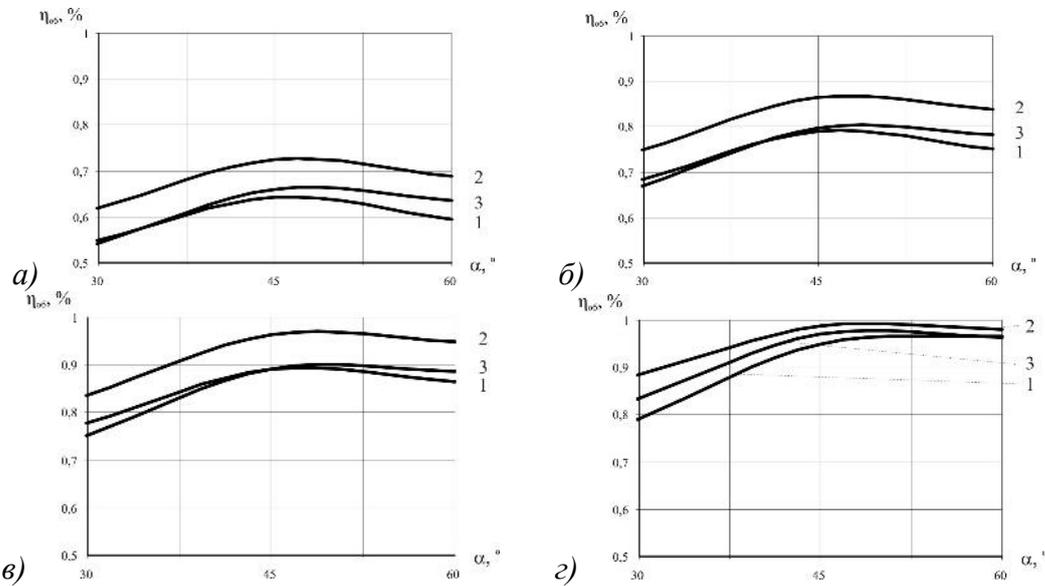


Рис. 6. Залежність об'ємного ККД  $\eta_{об}$  від кута нахилу спеціальної вставки, що була встановлена у всмоктувальну камеру  $\beta^0$ , при: а)  $\Pi=8$  см; б)  $\Pi=8,5$  см; в)  $\Pi=9$  см; г)  $\Pi=10$  см. 1 –  $p = 0,5$  МПа; 2 –  $p = 1,5$  МПа; 3 –  $p = 2,5$  МПа.

**Висновки.** Аналіз графічних залежностей, що наведені на рис. 3, дозволив виявити раціональні параметри значення об'ємного ККД розчинонаосу з встановленою спеціальною вставкою під кутом  $\beta$ .

Максимального значення 82% об'ємний ККД розчинонаосу досяг при перекачуванні будівельних розчинів рухомістю  $\Pi$  8 см зі спеціальною вставкою під кутом нахилу  $\beta = 45^\circ$  у всмоктувальній камері та підпружиненим нагнітальним клапаном. За рахунок таких конструктивних рішень значення об'ємного ККД розчинонаосу при перекачуванні

розчину  $\Pi=8$  см зросло на 22%. по відношенню концепції розчинонасоса з вільно діючими клапанами та без спеціальної вставки

Рациональний режим роботи розчинонасоса з електромеханічним приводом під час перекачування розчину рухомістю  $\Pi = 9 \dots 10$  см відбувається при таких діапазонах варіювання факторів: тиску подачі  $p = 1,0 \dots 1,5$  МПа, приведену об'єму компенсатора  $V_{ком} = 44 \dots 50$  дм<sup>3</sup>, кутом  $\beta = 45^\circ$  спеціальної вставки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ивянский Г.Б. Транспорт строительных растворов по трубам. М.: Госстройиздат, 1957. 187 с.
2. Кукоба А.Т., Коробко Б.О., Васильев А.В. Изменение объема растворной смеси при перекачивании растворонасосом. Механизация строительства. 2000. № 3.
3. Шаповал М.В., Пономарьов П. Я. Вивчення впливу конструктивних елементів робочої камери розчинонасоса на об'ємний ККД. Високі технології в машинобудівному виробництві і транспортному машинобудуванні: матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. Полтава: ПолтНТУ, 2012. С. 7.
4. Шаповал М.В. Однопоршневий розчинонасос з компенсатором пульсації тиску. Матеріали Міжнарод. наук.-техн. конф. «Нові досягнення в галузі проектування і експлуатації підйомно-транспортних і дорожніх машин». Харків: ХНАДУ, 2012. С. 26
5. Шаповал М.В. Вплив параметрів роботи комбінованого компенсатора однопоршневого розчинонасоса на рівень пульсації. Матеріали Міжнарод. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2013. С. 176-178.
6. Коробко Б.О., Шаповал М.В. Однопоршневий розчинонасос із комбінованим компенсатором пульсації тиску. Матеріали Міжнарод. наук.-техн. конф. «Високі технології в машинобудівному виробництві і транспортному машинобудуванні». Полтава: Полт. НТУ, 2013. С. 18.
7. Онищенко О. Г., Шаповал М. В., Васильев А.В. Однопоршневой растворо-насос с комбинированным компенсатором давления. Механизация строительства. Москва, 2001. № 4. С. 4-6.
8. Шаповал М. В. Вивчення впливу конструктивних елементів робочої камери розчинонасоса на об'ємний ККД. Теорія і практика будівництва: наук.-техн. журн. Київ: КНУБА, 2013. Вип. 11. С. 12-25.
9. Емельянова И.А., Шаповал Н.В. Исследование энергозатрат однопоршне-выми растворонасосами с комбинированными компенсаторами. VI Міжнарод. наук.-практ. конф. «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» Харків: ХНУБА, 2016. С. 47-49.
10. Емельянова И. А., Шаповал М. В. Визначення продуктивності та об'ємного ККД розчинонасоса залежно від геометричних параметрів усмоктувальної камери та компенсаторів різних конструктивних рішень. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2017. Т 88. №2. С. 195-203.
11. Shapoval M.V., Virchenko V.V., Skoryk M.O., Kryvorot A.I. One-Piston Mortar Pump with Increased Volume Combined Compensator Working Processes Analysis. Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering. Cham: Springer, 2019. Vol. 73. P. 253- 263.
12. Шаповал М.В., Вірченко В.В., Скорик М.О., Криворот А.І. Теоретичний аналіз роботи однопоршневого розчинонасоса з гідравлічним приводом. Матеріали ІХ Міжнар. наук. конф. «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд». Харків: ХНУБА, 2019. С. 97-99.
13. Mortelpumpen und ihre Entwicklung. Fordern und Heben. 1969. № 15.
14. EP 0200026, INT. Cl. 4 F 04 B 43/12, 15/02. Pumpe neumuller Walter, Sturmer Gerhard. – 10.12.1986. Patentblatt 86/45.

REFERENCES:

1. Ivyanskiy G.B. Transport stroitelnyih rastvorov po trubam. M.: Gosstroyizdat, 1957. 187 s.
2. Kukoba A.T., Korobko B.O., Vasilev A.V. Izmenenie ob'yoma rastvornoy smesi pri perekachivanii rastvoronasosom. Mehanizatsiya stroitelstva. 2000. № 3.
3. Shapoval M.V., Ponomarov P. Ya. Vyvchennia vplyvu konstruktyvnykh elementiv robochoi kamery rozchynonasosa na obiemnyi KKD. Vysoki tekhnolohii v mashynobudivnomu vyrobnytstvi i transportnomu mashynobuduvanni: materialy Vseukr. nauk.-tekhn. konf., Poltava: PoltNTU, 2012. S. 7.
4. Shapoval M.V. Odnoporshnevyi rozchynonasos z kompensatorom pulsatsii tysku. Novi dosiahnennia v haluzi proektuvannia i ekspluatatsii pidiomno-transportnykh i dorozhnykh mashyn: materialy Mizhnarod. nauk.-tekhn. konf., Kharkiv: KhNADU, 2012. S. 26

5. Shapoval M.V. Vplyv parametriv roboty kombinovanoho kompensatora odnoporshnevoho rozchynonasosa na riven pulsatsii. Aktualni problemy zhyttiediiialnosti suspilstva: materialy Mizhnarod. nauk.-tekhn. konf., Kremenchuk: KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho, 2013. S. 176-178.
6. Korobko B.O., Shapoval M.V. Odnoporshnevyi rozchynonasos iz kombinovanyim kompensatorom pulsatsii tysku. Vysoki tekhnolohii v mashynobudivnomu vyrobnytstvi i transportnomu mashynobuduvanni: materialy Mizhnarod. nauk.-tekhn. konf., Poltava: PoltNTU, 2013. S. 18.
7. Onyshchenko O. H., Shapoval M. V., Vasylev A.V. Odnoporshnevoi rastvoronasos s kombynyrovannym kompensatorom davleniya. Mekhanyzatsiya stroytelstva. Moskva. 2001. № 4. S. 4-6.
8. Shapoval M. V. Vychennia vplyvu konstruktivnykh elementiv robochoi kamery rozchynonasosa na obiemnyi KKD. Teoriia i praktyka budivnytstva: nauk.-tekhn. zhurn. Kyiv: KNUBA, 2013. Vyp. 11. - S. 12-25.
9. Emelyanova I.A., Shapoval N.V. Issledovanie energozatrat odnoporshnevymi rastvoronasosami s kombinirovannymi kompensatorami. Efektivni organIzatsIyno-tehnologIchnI rIshenya ta energozberIgayuchI tehnologIyi v budIvnytstvi: VI Mizhnarod. nauk.-prakt. konf., HarkIv: HNUBA, 2016. S. 47-49.
10. Yemelianova I. A., Shapoval M. V. Vyznachennia produktyvnosti ta obiemnoho KKD rozchynonasosa zalezno vid heometrychnykh parametriv usmoktuvalnoi kamery ta kompensatoriv riznykh konstruktivnykh rishen. Naukovyi visnyk budivnytstva. Kharkiv: KhNUBA, 2017. T 88. № 2. S. 195-203.
11. Shapoval M.V., Virchenko V.V., Skoryk M.O., Kryvorot A.I. One-Piston Mortar Pump with Increased Volume Combined Compensator Working Processes Analysis. Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering. Cham: Springer, 2019. Vol. 73. P. 253-263.
12. Shapoval M.V., Virchenko V.V., Skoryk M.O., Kryvorot A.I. Teoretychnyi analiz roboty odnoporshnevoho rozchynonasosa z hidravlichnym pryvodom. Resurs i bezpeka ekspluatatsii konstruktssii, budivel ta sporud: Materialy IKh Mizhnar. nauk. konf. Kharkiv: KhNUBA, 2019. S. 97-99.
13. Mortelpumpen und ihre Entwicklung. Fordern und Heben. 1969. № 15.
14. EP 0200026, INT. Cl. 4 F 04 B 43/12, 15/02. Pumpe neumuller Walter, Sturmer Gerhard. 10.12.1986. Patentblatt 86/45.

**Shapoval N. V., Virchenko V.V., Skoryk M.O., Kryvorot A.I. ANALYSIS OF THE WORK OF A SINGLE-PISTON SOLUTION PUMP BASED ON A THREE-FACTOR EXPERIMENTAL STUDY.** The article considers a mortar pump with electromechanical drive, ball suction and spring-loaded discharge valves, a special insert in the suction chamber and a compensator of increased volume. The analysis of operation of the mortar pump with various constructive decisions of a hydraulic part of the mortar pump is carried out. On the basis of a three-factor experiment, the rational geometrical parameters of the valve assemblies and the suction chamber were established, taking into account a special insert. Also, the performance and volumetric efficiency of the mortar pump are determined.

The areas of rational modes of operation of the mortar pump are determined.

**Key words:** mortar pump with combined compensator of increased volume, special cylindrical insert, productivity, volumetric efficiency, power, solution mobility, valve.

[doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-190-197](https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-190-197)

УДК 697.7

**Череднік А.Д.<sup>1</sup>, Бурда Ю.О.<sup>1</sup>, Півненко Ю.О.<sup>1</sup>, Редько І.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 61002; e-mail: [artemcherednic@gmail.com](mailto:artemcherednic@gmail.com), [malafiko@gmail.com](mailto:malafiko@gmail.com),

[orcid.org/0000-0002-3385-0584](https://orcid.org/0000-0002-3385-0584), [orcid.org/0000-0003-3470-1334](https://orcid.org/0000-0003-3470-1334), [orcid.org/0000-0002-6675-2649](https://orcid.org/0000-0002-6675-2649))

<sup>2</sup>Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

(вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002; e-mail: [Germes\\_s2006@ukr.net](mailto:Germes_s2006@ukr.net); [orcid.org/0000-0002-9863-4487](https://orcid.org/0000-0002-9863-4487))

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ ПРОМЕНЕВОГО ОПАЛЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ВИРОБНИЦТВА ЕНТРОПІЇ**

Одним з перспективних способів зниження енергетичних затрат є застосування променевого водяного стельового опалення. Даний вид опалення має ряд істотних переваг перед іншими видами та дозволяє скоротити витрати на опалення до 50 відсотків в порівнянні з традиційними системами. В даній роботі наведені результати моделювання та оптимізації систем стельового водяного променевого опалення за критерієм мінімуму