

УДК 693.6.002.5

## АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОДНОПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОНАСОСА З КОМБІНОВАНИМ КОМПЕНСАТОРОМ ЗБІЛЬШЕНОГО ОБ'ЄМУ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО НАДІЙНІСТЬ

Шаповал М.В., к.т.н., доцент, Вірченко В.В.; к.т.н., доцент,  
Криворот А.І., к.т.н., доцент, Скорик М.О. старший викладач  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Анотація.** Проведено аналіз існуючих конструкцій розчинонасосів, вказані основні недоліки і переваги їх експлуатаційних показників. Визначено основні напрямки розвитку нових конструкцій розчинонасосів. Запропоновано нову конструкцію однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму та з гідравлічним приводом. Наведено конструктивні особливості розчинонасоса та принцип його роботи. Розкриті конструктивні особливості компенсатора збільшеного об'єму, усмоктувальної камери, клапанних вузлів та камери охолодження циліндро-поршневої групи. Проведено експериментальні дослідження робочих процесів однопоршневого розчинонасоса з різними комбінованими компенсаторами, використанням поршнів з різними видами гуми, циліндрів з різних конструкційних сталей. Встановлено які матеріали тертя циліндро-поршневої групи вважаються найбільш зносостійкими. Вказано перспективи вдосконалення конструкції однопоршневого розчинонасоса з комбінованими компенсаторами збільшеного об'єму та використання раціональних кінематичних схем привода, циліндро-поршневої групи та способи ресурсозбереження даного типу розчинонасосів.

**Ключові слова:** однопоршневий розчинонасос, циліндро-поршнева група, гідравлічний привод, всмоктувальна камера, всмоктувальний та нагнітальний клапани, компенсатор збільшеного об'єму.

## ANALYSIS OF DESIGN FEATURES AFFECTING THE RELIABILITY OF A SINGLE PISTON SOLUTION PUMP WITH A COMBINED COMPENSATOR OF INCREASED VOLUME

M.V. Shapoval, Ph.D., associate professor; Virchenko V.V.; Ph.D., associate professor;  
A.I. Krivorot, Ph.D., associate professor, M.O. Skoryk. Senior Lecturer; department of  
industrial mechanical engineering and mechatronics  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

**Abstract.** Plaster mortar pumps existing constructions analysis is carried out, the main disadvantages and advantages of their operational indicators are determined. The main development directions of new plaster mortar pumps designs have been determined. A new design of a single-piston plaster mortar pump with a combined increased volume compensator and a hydraulic drive proposed. Design features of the solution pump and the principle of its operation are given. The design features of increased volume compensator, the suction chamber, the valve assemblies and the cooling chamber of the cylinder-piston group are revealed. Experimental studies of the single-piston plaster mortar pump working processes with various combined compensators, using pistons with various rubber types, and cylinders made of various structural steels were conducted. It has been determined which friction materials of the cylinder-piston group are considered the most wear-resistant. The prospects of improving single-piston plaster mortar pump design with increased volume combined compensators and the drive rational kinematic schemes use, cylinder-piston group and methods of this type plaster mortar pumps resource conservation are indicated.

**Key words:** single-piston plaster mortar pump, cylinder-piston group, hydraulic drive, suction chamber, suction and discharge valves, compensator of increased volume.

## Вступ

Проведений аналіз роботи сучасних діючих зразків розчинонасосів як закордонних, так і вітчизняних, вказує на необхідність створення досконалих машин зі стабільним перекачуванням по трубопроводах будівельних розчинів зниженої рухомості і розчину при помірних пульсаціях та надійній роботі обладнання.

Згладжування пульсацій тиску до помірному рівню у однопоршневого розчинонасоса може забезпечити комбінований повітряний компенсатор з двома камерами: одна з вільним, а друга зі стиснутим повітрям.

Сумарний приведений об'єм повітря в обох камерах повинен забезпечувати необхідне згладжування пульсацій тиску розчину.

Також важливою вимогою до розчинонасосів є їх висока надійність у роботі, особливо при механізованому способі соплування. Вирішення цієї вимоги можливе при використанні конструктивних матеріалів, які мають підвищені фізико-механічні властивості при абразивному зношуванні, та сучасних технологій виготовлення деталей.

Виникає необхідність у створенні однопоршневих розчинонасосів підвищеної надійності з вдосконаленою циліндро-поршневою групою та приводом, який забезпечить помірні пульсації подачі розчину, плавність роботи привода й підвищений об'ємний ККД. Тому розробка нових конструкцій компенсаторів та удосконалення діючих є актуальною проблемою для забезпечення ефективної роботи розчинонасосів.

## Аналіз публікацій.

Вітчизняні поршневі розчинонасоси застосовують для перекачування розчинів рухомістю не менше 5...7 см і крупністю фракції не більше 5... 12 мм [1, 2, 3].

Перекачування розчину здійснюється за рахунок зворотно-поступального руху поршня із безпосереднім впливом на розчин під час його всмоктування і нагнітання.

Поршневі розчинонасоси марки СО [1, 2, 3], які виготовляються на Маріупольському ремонтно-механічному заводі, складаються із привода, циліндро-поршневої групи, робочої і клапанної камер із всмоктувальним і нагнітальним кульовими самодіючими клапанами, повітряного ковпака (крім двопоршневих) для згладжування пульсацій тиску, пульта управління і рами, на якій змонтовані всі вузли розчинонасоса. Циліндро-поршнева група розчинонасосів включає в себе гумовий поршень і гільзу циліндра з хромованою внутрішньою поверхнею, що забезпечує високий ресурс групи. Основними характеристиками поршневих розчинонасосів є: незалежна подача розчину від розвинутого напору, **хороша** всмоктувальна здатність, високий ресурс циліндро-поршневої групи (близько 2000 маш-год). Поршневі розчинонасоси максимально уніфіковані і призначені для комплектації штукатурних агрегатів і станцій.

Відомі фірми, які займаються розробкою та впровадженням у виробництво є німецька фірма "Putzmeister Werk Maschinenbau Gmb" та італійська фірма "Turbosol" [4].

В 1965 році в ФРГ фірмою «Putzmeister» [5, 6] запатентований двоциліндровий диференціальний розчинонасос К-139, в якому зниження рівня пульсацій забезпечується періодичним процесом всмоктування, а процес нагнітання здійснюється безперервно.

Штукатурна машина даного модельного ряду з поршневими насосами КА-139 є універсальною машиною призначеною для приготування розчинів і штукатурки майже всіх видів. Дані машини характеризуються великою продуктивністю навіть за умови експлуатації в найскладніших випадках, та помірними пульсаціями тиску  $\delta \leq 0,25$ . За рахунок використання потужного механічного приводу дані розчинонасоси, на відміну від насосів інших типів, краще транспортують навіть важко змішувані матеріали.

Поршневі розчинонасоси Putzmeister КА-139 працюють практично без зносу деталей і ривків, при значних і невеликих обсягах подачі досягають високих показників тиску і за рахунок цього широко застосовуються при виконанні різного діапазона робіт.

## Результати досліджень та їх обговорення

Представлено однопоршневий розчинонасос з використанням комбінованих компенсаторів пульсації тиску (рис. 1, а) та збільшеного об'єму (рис. 1, б, в).

Розчинонасос із комбінованим компенсатором пульсації тиску (рис. 1, а) містить горизонтально розташований робочий циліндр з поршнем, який обварено гумою, та штоком; привод поршня від кривошипно-шатунного механізму; всмоктувальну камеру, в середині якої закріплена вставка фасонної форми, та нагнітальну камеру зі всмоктувальним і нагнітальним кульовими клапанами, всмоктувальний і нагнітальний патрубкі. Комбінований компенсатор збільшеного об'єму [1, 2] (рис. 1, б, в) оснащено циліндричною і замкненою камерою зі стиснутим повітрям. Замкнена камера складається із закрученого в кільця гумотканинного шлангу по периметру циліндричної камери та має поплавко-обмежувач, що розташований по центру циліндричної камери на направляючому стрижні. У штоковій порожнині розміщені каналні патрубкі, які забезпечують інтенсивне промивання та охолодження поверхні плунжера і стікання дисперсного абразиву у спеціальні кармани, які знаходяться у нижній частині штокової порожнини.

З метою зниження рівня пульсацій та підвищення ресурсу роботи тертьових деталей циліндро-поршневої групи за рахунок зниження поперечних зусиль виконано зміщення осі вала кривошипа відносно осі його поршня  $e$  та теоретично визначено його раціональну величину, яка складає  $1/2$  радіуса кривошипа або 20 мм (рис. 1, а, б).

Встановлено геометричні розміри всмоктувального та нагнітального клапанів: діаметр кульки клапана  $D=50$  мм і діаметр сідла клапана  $d=40$  мм. При цьому обґрунтовано, що найменші пульсації подачі розчину забезпечує висота підйому кульки клапана над сідлом  $h=15$  мм.

При роботі розчинонасоса в ньому протікає одночасно два процеси: подача розчину до ємностей або на оштукатурюванню поверхню і зношування деталей, які працюють в абразивному середовищі розчину.

Задача вдосконалення розчинонасоса, для підвищення продуктивності його та збільшення обсягів виконаних робіт, складається з декількох проблем, які вирішуються наступними шляхами:

- підвищення ефективності гідравлічної дії розчинонасоса за рахунок вибору схеми, яка б відповідала вимогам максимуму ККД і мінімуму матеріалоємності;
- зниження інтенсивності дії факторів зношування, підвищенням зносостійкості компонентів;
- підвищення відновлюваності розчинонасоса за допомогою зниження трудомісткості зміни зношених компонентів, зміщенням відновлювальних робіт з періодами технологічних пауз при перекачуванні;
- підвищення дегазації та очищення промивочної рідини від часток розчину.

Безвідмовність розчинонасоса створює умови для ефективної роботи всього штукатурного комплексу, підвищення продуктивності праці при перекачуванні розчину, енергозбереження і зменшення надмірної витрати матеріалів (особливо металу), покращення економічних показників.

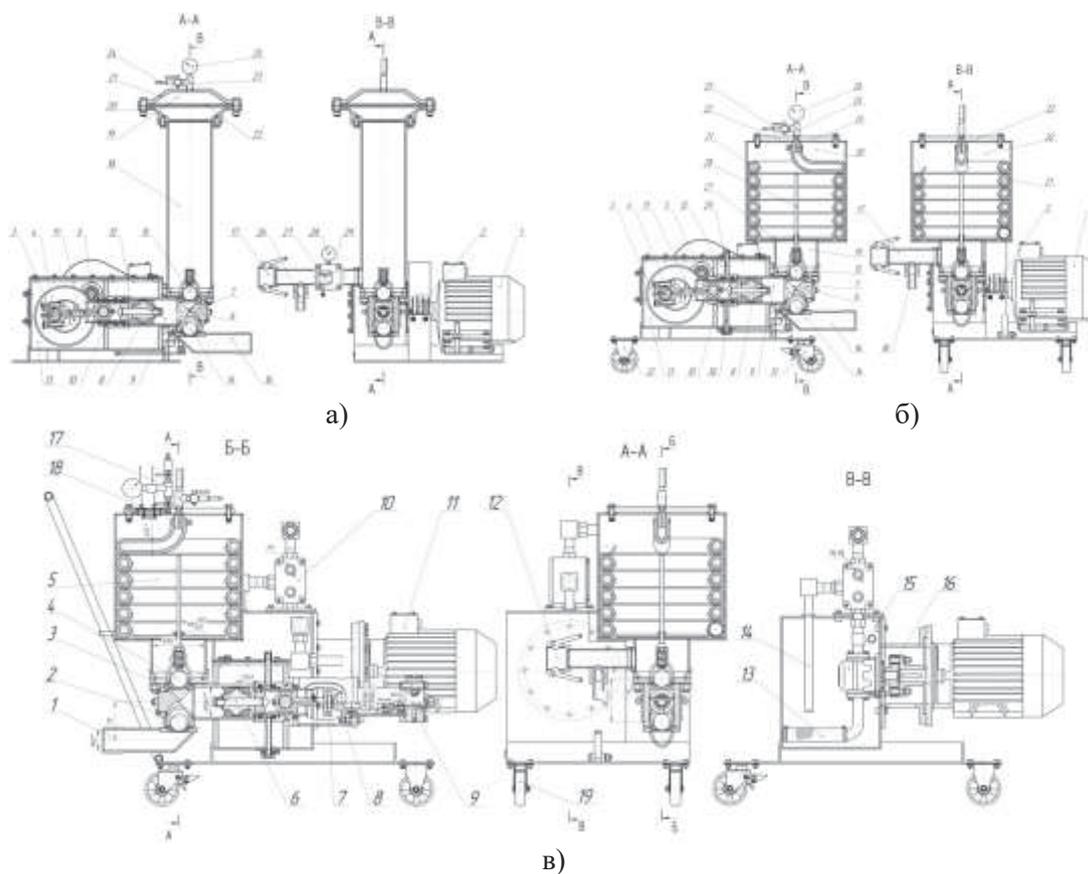
Рівень розвитку машинобудування дозволяє розробити і відтворити у серійному виробництві насос різної гідравлічної потужності та високого тиску, необхідних і достатніх для транспортування розчинів по трубопроводам різної рухомості, в тому числі вдосконалених однопоршневих розчинонасосів односторонньої дії.

Однак необхідні експлуатаційні якості розчинонасоса не можуть бути досягнуті в повній мірі, так як циліндро-поршнева група розчинонасоса працює в робочому середовищі корозійно-активного будівельного розчину, який має в своєму складі тверді частки у вигляді кварцу, піску.

Умовою створення таких насосів є втілення в промислових процесах наукової концепції зносостійкості, основа якої стоїть в паралізації абразивної дії кварцу – однієї з найбільш агресив-

вних складових твердих включень в розчинах – і компенсації зношування у вузлах тертя, які досягаються завдяки використанню сучасних матеріалів і технологій їх обробки.

Аналіз літературних джерел, досвід використання і результати досліджень зносостійкості циліндрів з внутрішнім робочим шаром зі сталей, які включають карбіди хрому, таких як 40X, 70, 95X18, показали, що при двократному підвищенні абразивної зносостійкості виготовлених зразків твердістю 40-60 HRC, ресурс циліндро-поршневої групи збільшується при рівних умовах не в 1,5-2 рази, а – в 3 рази і більше. Тому було використано декілька прототипів циліндрів з різних легованих сталей і при різних зміцнюючих факторах, які максимально підвищують зносостійкість дзеркала циліндра в абразивному середовищі (табл. 1).



- 1, 12 – усмоктувальний та нагнітальний патрубок; 2, 4 – всмоктувальний та нагнітальний підружнинений кульові клапани; 3 – усмоктувальна камера; 5 – комбінований компенсатор; 6 – поршень з направляючим плунжером; 7 – хомут гідравлічний привідний циліндр з розподільувачем; 8 – гідроциліндр з поршнем і штоком; 9 – золотниковий розподільник; 10 – регулятор подачі гідравлічної рідини; 11 – електродвигун; 13 – фільтр мастильної рідини; 14 – патрубок скидання гідравлічної рідини; 15 – шестерневий гідравлічний насос; 16 – муфта втулково-пальцева; 17 – редуктор підкачки повітря; 18 – скляне віконце з освітленням
- Рис. 1. Однопоршневі розчинонасоси: а - з комбінованим компенсатором пульсації тиску; б - з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму; в - гідроприводний з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму

При випробуваннях на зразках циліндрів, які пройшли закалювання до твердості HRC 60, тріщин не виявлено. Експериментальні і виробничі випробування показують, що найменший ресурс роботи зразка циліндра зі сталі 40X (рис. 2, а). Це пов'язано в першу чергу з абразивним впливом кварцу, твердість якого HRC 60-65.

У вузлі тертя, при порівнянні зразків циліндрів твердістю HRC 60 зі сталей 70 і 95X18 в однакових експлуатаційних умовах, встановлена шорсткість їх поверхні суттєво різна (відпо-

відно  $R_a = 1,2$  і  $0,25$  мкм), що не могло не вплинути на інтенсивність ресурсу циліндро-поршневої групи. В цьому випадку дзеркало циліндра зі сталі 70 швидше зношується (рис. 2 б). До того ж суттєва різниця в статичних умовах показників глибинної швидкості корозії сталі 70 –  $0,3$  мм/год і сталі 95X18 –  $0,003$  мм/год не дає основи для кількісної оцінки впливу корозійної стійкості матеріалів на інтенсивність зношування внутрішнього дзеркала циліндра поршнем, шаржованого твердими частинками кварцу (піску), що здійснює реверсивний прямо-лінійний рух з певною частотою.

Таблиця 1 – Механічні властивості матеріалів, з яких виготовлено поршневі гільзи

№ п/п	Марка матеріалу циліндра	Термообробка матеріалу	Твердість матеріалу після термообробки HRC	Ресурс циліндра до початку зменшення об'ємного ККД, годин	Фото циліндро-поршневої групи
1.	40X ГОСТ 8479-70 ГОСТ 8731-87	Загальне закалювання в маслі	52-54	560	Рисунок 2 а)
2.	70 ГОСТ 1133-77	Загальне закалювання в маслі. Азотування поверхневого шару (0,1-0,8 мм)	58-60	910	Рисунок 2 б)
3.	95X18 ГОСТ 1133-77	Загальне закалювання в маслі	58-62	1560 і більше	Ресурс циліндра ще не вичерпано, тобто циліндр в робочому стані

Також зерна кварцу мікротвердістю  $12500 - 13500$  МПа працюють як абразив по відношенню до всіх структурних складових загартованої і азотованої поверхні дзеркала гільзи зі сталі 70, але вони поступаються за мікротвердістю карбідів хрому сталі 95X18.

Тому використання високолегованої сталі 95X18 у виготовленні циліндрів буде найбільш раціональним (фото даної циліндро-поршневої групи виконати не можливо, тому що вона встановлена на робочому зразку розчинонасоса).

Невід'ємною складовою частиною концепції зносостійкості однопоршневого розчинонасоса служить підтримка теплового балансу рухомих ущільнень на рівні мінімальної температури, що досягається подачею у поршневу порожнину направленої потоку охолоджувальної рідини, направленої на відкрите дзеркало циліндра вслід поршню, який рухається витискаючи розчин. Це дозволяє змивати рештки абразиву, а також ефективно відводити тепло, яке виділяється у вузлі тертя, і тим самим підвищує ресурс циліндро-поршневої групи однопоршневого розчинонасоса приблизно в 10 і більше разів.

Тому для досягнення цих цілей використовується промивочна рідина у вигляді водномильно-масляного розчину у процентному співвідношенні 92/4/4.

Зрозуміло, що в процесі експлуатації розчинонасоса розчин забруднюється часточками кварцу (піску), гуми від поршня, металевого абразиву, змиваючи їх із дзеркала циліндра, а тому в нижній частині промивочної камери передбачені кармани, в які стікають ці рештки. Також через деякий період необхідно здійснювати заміну промивочної рідини для підвищення її функціонального призначення.

Використавши досвід італійської фірми Turbosol в конструкції розчинонасоса використано поршень спеціальної форми, корпус якого обварюється твердою гумою на основі етиленпропиленового каучуку (СКЭП-50-46-56, СКМС-26АСМ, індекс ИСО – ЕРМ) [6]. Конструкція поршня спроектована таким чином, що краєві кромки поршня мають форму манжети, що щіль-

но прилягає до дзеркала циліндра, і ефективно виконує свою функцію при зворотно-поступальному русі поршня. Така конструкція суттєво підвищила ресурс роботи циліндро-поршневої групи.



Рис. 2. Циліндро-поршнева група після напрацьованого ресурсу роботи: (а) гільза, виготовлена зі сталі 40Х поршень виготовлений із гуми СКЭП-50-46-56; (б) гільза, виготовлена зі сталі 70 поршень виготовлений із гуми СКМС-26АСМ

Повзун кривошипно-шатунного механізму також виконаний з високоякісної легованої сталі 40Х13 ГОСТ 8589–75 з термообробкою закалюванням твердістю HRC 52-54, що також суттєво підвищило ресурс роботи насоса в цілому.

При конструюванні замкненої камери компенсатора необхідно керуватися таким параметром як жорсткість діафрагми

$$L = \frac{\Delta P}{\Delta x}, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – зусилля, яке сприймає замкнена камера, при зміні тиску на  $\Delta p$ , МПа;  $\Delta P = \Delta p \cdot S_{ef}$ , Н;  
 $\Delta x$  – одиниця деформації замкненої камери, см.

Для плоскої діафрагми її ефективна площа, яка виконує коливальні рухи при зміні тиску в компенсаторі розраховується за виразом

$$S_{ef} = \frac{P}{\Delta p} = \frac{V_{ef}}{x}, \quad (2)$$

де  $V_{ef}$  – ефективний об'єм – об'єм, який витісняється камерою при її деформації на 1 см;

$D$  – діаметр ефективної площі замкненої камери,  $D = 2,5$  см.

Після підстановки числових значень отримуємо

$$S_{ef} = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 612,5 = 4810,56 \text{ см}^2;$$

$$\Delta P = 2,5 \cdot 4810,56 = 12026,4 \text{ Н};$$

$$L = \frac{12026,5}{1} = 21647,4 \text{ Н/см.}$$

Під час роботи розчинонасоса замкнена камера компенсатора, виконуючи свою безпосередню функцію, а саме компенсуючу, витримує складні деформації при узагальненій дії

змінного тиску  $p$ . В цьому випадку виникає газонасичення матеріалу пропорційно тиску  $p$ , тому при пульсаціях тиску і падінні тиску можливе газовиділення в пори і утворення внутрішніх тріщин, що призводить до розвитку локальних дефектів камери.

В результаті пульсації тиску повітря (газ) в компенсуючій камері нагрівається, внаслідок швидкого стиснення (дизельний ефект), і виникає можливість прискореного термостаріння гуми. У зв'язку з цим для прогнозування строків експлуатації шлангу камери високого тиску виникає необхідність у проведенні аналізу залежностей  $p(t)$  і розрахунок температурного режиму  $\vartheta(t)$ .

Також камера сприймає пульсуючі навантаження, тому для підвищення міцності і часу напрацювання її потрібно виготовляти із гумотканинного матеріалу на основі нітрильних каучуків СКН-26М [7, 8].

### Висновки

В процесі виготовлення експериментального зразка малоімпульсного однопоршневого розчинонасоса з компенсатором збільшеного об'єму, його лабораторних і виробничих випробувань були визначені напрямки з подальшого вдосконалювання конструкції даного насоса, які дозволяють підвищити його надійність, зменшити металоємність.

З метою підвищення ресурсу роботи насоса підбиралися матеріали для виготовлення деталей і вузлів гідравлічної частини, зокрема циліндра (сталь 95Х18), гільзи штока (сталь 40Х13), манжет та ущільнень, а також поршня спеціальної форми, корпус якого обварюється твердою гумою. Розроблено систему промивання порожнини циліндро-поршневої групи та ущільнень. Для зменшення металоємності і габаритів корпус розчинонасоса виготовлено зварним з листової сталі.

Також для зменшення габаритів по ширині необхідно встановити електродвигун зверху корпусу розчинонасоса, але таким чином, щоб не збільшувати трудомісткість робіт щодо обслуговування розчинонасоса.

Для забезпечення можливості регулювання подачі розчинонасоса, за рахунок зміни частоти ходів поршня, необхідно шківні клинопасової передачі спроектувати суцільно-комбіновані з різними діаметрами під паси для ступінчастої зміни передаточного відношення приводу.

Внесення в конструкцію малоімпульсного розчинонасоса наведених конструктивних змін та використання зносостійких сталей і сплавів надасть можливість підвищити стабільність роботи насоса при перекачуванні малорухомих розчинів, збільшити ресурс роботи третьових деталей циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного механізму та насоса в цілому.

### Література

1. Онищенко В. О. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві [Текст]: монографія / В. О. Онищенко, О. Г. Онищенко, С. Ф. Пічугін, та ін. // – Вид. 2-ге, доповнене. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2011. – 520 с., [16] арк. Іл.
2. Будівельна техніка: Навч. Посібник / В.Л.Баладінський, О.М.Лівінський, Л.А.Хмара та ін. – К.: Либідь, 2001. – 368 с.
3. Баладінський В.Л., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Будівельна техніка: Підручник. – Київ-Полтава: КНУБА-ПНТУ, 2002 – 463 с., іл.
4. URL: <https://turbosol.com/en/home/>.
5. Mortelpumpen und ihre Entwicklung // "Fordern und Heben". – 1969. – № 15.
6. URL: <https://www.putzmeister.com/web/european-union>
7. Колосюк Д. С., Зеркалов Д. В. Експлуатаційні матеріали: підручник. Вид. 2-ге, допов. Київ : Арістей, 2005. 241 с.
8. Полянський С. К., Коваленко В. М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : підручник. Київ : Либідь, 2005. 504 с.