

В.І. ОРЕЛ, кандидат технічних наук  
Національний університет «Львівська політехніка»

## РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ НАСОС–ТРУБОПРОВІД ЗМІНОЮ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ТА ПЕРЕПОМПОВУВАННЯМ ГІДРОДИНАМІЧНО АКТИВНИХ ПОЛІМЕРІВ

*Проведено комбіноване якісно-кількісне регулювання зміною характеристик шестеренного насоса частотним регулюванням електроприводу та мережі збільшенням пропускної здатності за допомогою гідродинамічно активних полімерів. Це дозволить використовувати шестеренний насос як дозатор.*

**Ключові слова:** шестеренний насос, регулювання, швидкість обертання, гідродинамічно активні полімери.

*Проведено комбинированное качественно-количественное регулирование изменением характеристик шестеренного насоса частотным регулированием электропривода и сети увеличением пропускной способности при помощи гидродинамически активных полимеров. Это позволит использовать шестеренный насос в качестве дозатора.*

**Ключевые слова:** шестеренный насос, регулирование, скорость вращения, гидродинамически активные полимеры.

*The combined qualitative and quantitative regulation by changing the characteristics of the gear pump by frequency regulation of the electric drive and the pipeline by increasing the throughput with the help of hydrodynamically active polymers. This will allow the gear pump to be used as a dispenser.*

**Key words:** gear pump, regulation, speed of rotation, hydrodynamically active polymers.

**Вступ.** Актуальність питань забезпечення екологічної безпеки систем, які транспортують стічні води, все більш зростає. Її фізичний зміст полягає в здатності транспортних споруд не перевищувати частоту та тривалість аварій у процесі експлуатації [1].

Під час пікових перевантажень дощових трубопроводів у періоди інтенсивних атмосферних опадів виникає гостра проблема експлуатації каналізаційних мереж. Використання гідродинамічно активних полімерів (ГДАП) призводить до відновлення нормального функціонування

трубопроводів збільшенням їхньої пропускної здатності завдяки зменшенню гідравлічного тертя [2–4].

**Аналіз останніх досліджень.** Ідея застосування ГДАП на каналізаційних мережах не нова, але й досі актуальна. Так, під час Зимових Олімпійських ігор 2010 р. у м. Вістлер (Канада) додаванням сухого флокулянта Kemira Superfloc A-1820 концентраціями 80...100 мг/л збільшили пропускну здатність магістральної каналізації на 20...30% [5].

При використанні ГДАП у вигляді розчину введення їх у трубопровід здійснюють вручну чи автоматично зміною кількості обертів шестеренних насосів [6] з приводом від електродвигуна з регульованою швидкістю обертання [6; 7, 128]. Тільки цей тип насосів дозволяє перепомпувати ГДАП з мінімальними напруженнями зсуву, що оберігає ГДАП від передчасної деструкції [7, 130]. Крім того, при регулюванні насоса зміною частоти обертання забезпечується його мінімально можливе енергоспоживання [8, 64].

Позаяк регульованим параметром шестеренного насоса є швидкість обертання, то її збільшення використовують як інтенсивний спосіб збільшення його подачі [9].

У [10] було обґрунтовано використання шестеренного насоса як дозатора рідин, зокрема розчинів ГДАП. Це, виходячи з [11], є комбінованим якісно-кількісним регулюванням зміною характеристик: 1) шестеренного насоса частотним регулюванням його електроприводу; 2) мережі збільшенням пропускної здатності за допомогою ГДАП.

**Метою дослідження** є підтвердження можливості використання шестеренного насоса як дозатора ГДАП. Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі задачі:

1. Дослідити вплив циркуляції ГДАП за допомогою шестеренного насоса на їх деструкцію.
2. Дослідити пропускну здатність системи насос-трубопровід при змінній швидкості обертання шестеренного насоса та використанні ГДАП.
3. Оцінити ефективність дії ГДАП на роботу шестеренного насоса.

**Експериментальний стенд.** Стенд (рис. 1) був розроблений на базі навчальної лабораторії гідравліки кафедри гідравліки та сантехніки Національного університету «Львівська політехніка» [12].

Шестеренний насос НШ та електродвигун ЕД є відповідно насосом та моторчиком омивача лобового скла автомобіля ВАЗ 2108.

До статора регульованого електродвигуна ЕД приєднаний мультиметр. У його складі є вольтметр та амперметр для вимірювання напруги  $U$  та сили струму  $I$ ; межі вимірювання: 0...15 В та 0...3 А відповідно.

Частотне регулювання електродвигуна ЕД шестеренного насоса НШ проводили зміною напруги.

**Обґрунтування обраних дослідних рідин.** У дослідженнях використовували холодну водопровідну воду та водний розчин

поліакриламід (ПАА) з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг. Температура води та розчину ПАА була в межах 14...19°C.

Воду відбирали зі змішувача в 105 аудиторії II навчального корпусу НУ «Львівська політехніка» (вул. Карпінського, буд. 6), що приєднаний до міського водопроводу м. Львова в районі вул. Ст. Бандери. Вихідна загальна твердість води – 3,45...3,80 мг-екв/дм<sup>3</sup> [13], при температурі 17°C її загальний солевміст – 202 мг/дм<sup>3</sup>, окисно-відновлювальний потенціал – 260 мВ та водневий показник середовища рН 7,48 [14].

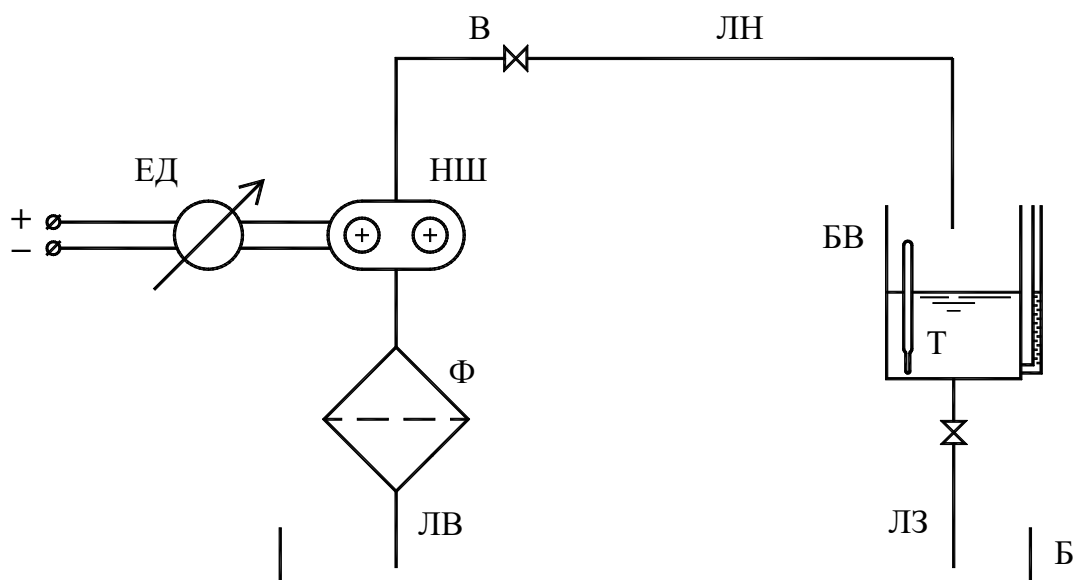


Рис. 1. Схема експериментального стенду:

ЕД – регульований електродвигун; НШ – шестеренний насос; Ф – фільтр; В – вентиль; Б – гідробак; БВ – бак вимірювальний; Т – термометр; ЛВ – всмоктувальна гідролінія; ЛН – напірна гідролінія; ЛЗ – зливна гідролінія

ПАА – це 8%-ий технічний гель виробництва ВАТ «Оріана» (м. Калуш, Івано-Франківська обл.) 1999 року виготовлення за ТУ 6-01-1049-92. Його розчини не викликають корозії металів [15] і навіть є інгібіторами корозії [16]. Ефективність ПАА при малих концентраціях у розчині практично не залежить від температури [17]. Значення коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma_t$  розчинів ПАА, виміряні методом капілярного підняття, дуже близькі до значень  $\sigma_t$  води [18]. Водні розчини ПАА з концентраціями від  $10^{-5}$  до  $10^{-4}$  кг/кг можна вважати ньютонівськими, але з підвищеною, порівняно з водою, в'язкістю [19].

**Методика дослідження.** Методика проведення експериментів наведена в [20], а методика приготування водних розчинів ПАА – в [21; 22]. Споживану потужність шестеренного насоса обчислювали за формулою [12]:

$$N = I \cdot U. \quad (1)$$

Пропускную здатність  $Q$  системи насос-трубопровід вимірювали об'ємним способом:

$$Q = \frac{W}{t} . \quad (2)$$

Відносна похибка вимірювання споживаної потужності насоса складала 14,7%, те саме, пропускної здатності системи насос-трубопровід – 10,7% [20].

Ефективність дії ГДАП визначали за формулою [2]:

$$\frac{\Delta N}{N} = 1 - \frac{N_p}{N_w} , \quad (3)$$

де  $\Delta N$  – зміна споживаної потужності шестеренного насоса при перепомповуванні розчину ПАА порівняно з розчинником;

$N_p / N_w$  – симплекс, який характеризує ефективність дії ГДАП. Тут індекси "w" та "p" відповідають роботі насоса на воді та водному розчину ПАА.

**Результати дослідження<sup>2</sup>.** Позаяк омивач скла автомобіля працює в повторно-короткочасному режимі, то для дослідження деструкції водного розчину ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг шестеренним насосом обмежилися циркуляцією  $n = 10$  разів. Будували залежність  $Q = Q(n)$  пропускної здатності системи насос-трубопровід від кількості циркуляцій при споживаній потужності  $N \equiv N_{\max} = \text{const}$  та  $N = \text{var}$  (рис. 2). У першому випадку, при  $N \equiv N_{\max} = \text{const}$ , одержано  $Q = 19,3 \dots 20,2$  мл/с ( $\bar{Q} = 19,9$  мл/с) при  $n = 10$  та  $N_{\max} = 21,1 \dots 22,3$  Вт ( $\bar{N}_{\max} = 21,6$  Вт) [23]. Це вказує на відсутність деструкції розчину ПАА.

У другому випадку, при  $N = \text{var}$ , одержано  $Q(n = 1) = 20,3$  мл/с при  $N = 21,5$  Вт,  $Q(n = 5) = 13,0$  мл/с при  $N \equiv N_{\min} = 10,8$  Вт та  $Q(n = 10) = 18,5$  мл/с при  $N = 20,2$  Вт [23]. Це вказує на можливість дозування ГДАП за допомогою шестеренного насоса.

Для дослідження пропускної здатності системи насос-трубопровід водний розчин ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг перепомпували шестеренним насосом одноразово. Будували графік залежності  $Q = f(N)$  пропускної здатності від споживаної потужності насоса (рис. 3). Ця залежність є лінійною як для води, так і для водного розчину ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг, а саме [20]:

$$Q_w = 5,636 + 0,666 \cdot N ; \quad (4)$$

$$Q_p = 5,888 + 0,694 \cdot N . \quad (5)$$

Як видно з рис. 3, порівняно з водою, при перепомповуванні водного розчину ПАА відбувається зменшення споживаної потужності шестеренного насоса, що узгоджується з [2; 6]. При витраті  $Q = 20$  мл/с з використанням формул (4) та (5) одержано споживану потужність  $N_w = 21,6$  Вт та

<sup>2</sup> У дослідженні брала участь бакалавр І.Д. Семків.

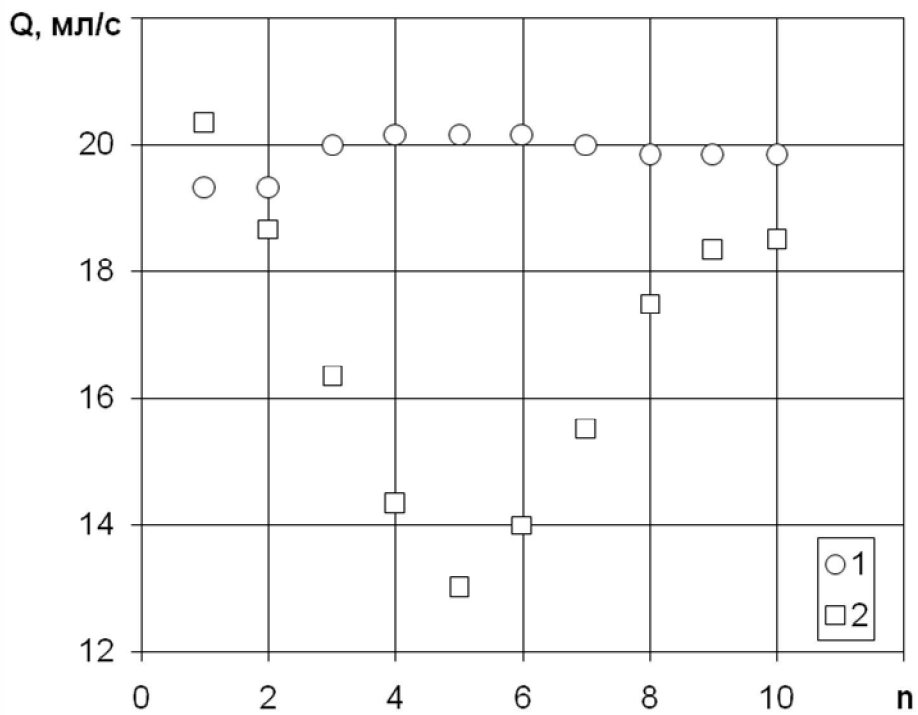


Рис. 2. Циркуляція водного розчину ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг за допомогою шестеренного насоса:  
 1 –  $N \equiv N_{\max} = \text{const}$ ; 2 –  $N = \text{var}$

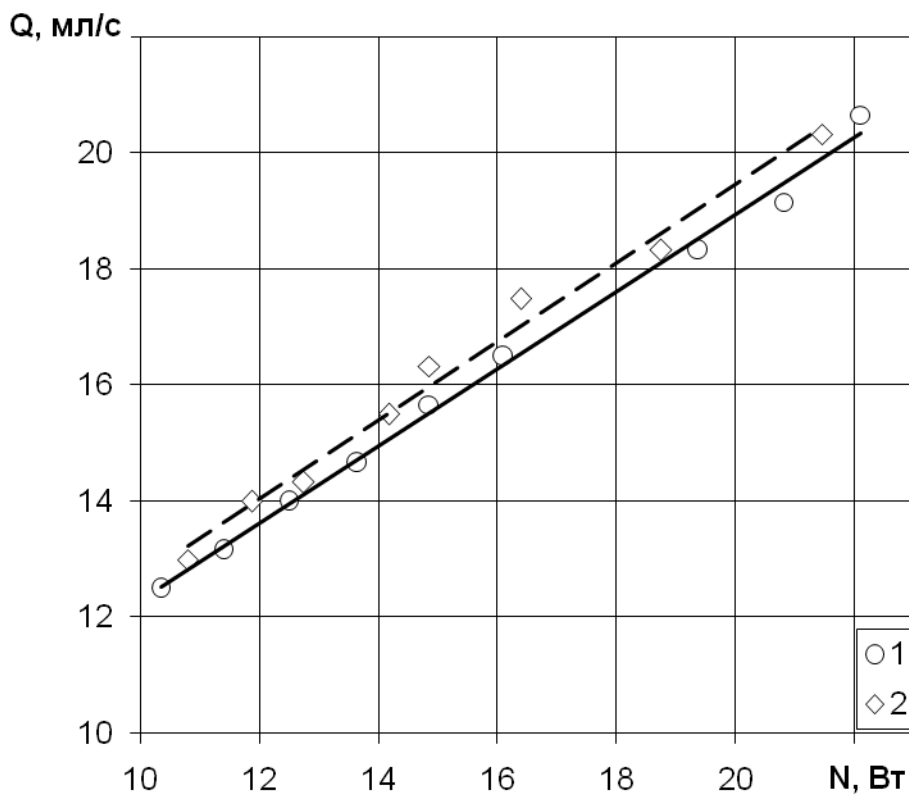


Рис. 3. Перепомповування води (1) та водного розчину ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг (2) шестеренним насосом

$N_p = 20,95$  Вт. Ефективність дії ГДАП складала  $\Delta N/N = 0,030$  або 3,0%, що є сумірним з [2].

Як відомо, ГДАП збільшують пропускну здатність трубопроводів [2]. У [20] одержано  $Q_w = 19,6$  мл/с та  $Q_p = 20,2$  мл/с при  $N = 21$  Вт (рис. 3).

### Висновки

1. Одержано, що шестеренний насос не викликає деструкції водного розчину ПАА з масовою концентрацією  $10^{-5}$  кг/кг при 10-разовій циркуляції.

2. При перепомповуванні водного розчину ПАА шестеренним насосом одержано зменшення споживаної потужності насоса та збільшення пропускну здатності системи насос-трубопровід, що узгоджується з літературними даними.

3. Частотне регулювання електроприводу шестеренного насоса дозволяє використовувати останній як дозатор ГДАП.

### Список літератури

1. *Алексеев М.И.* Показатели экологической безопасности напорных коллекторов систем водоотведения / М.И. Алексеев, Ю.А. Ильин, В.С. Игнатчик, С.Ю. Ильина // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1991. № 2. С.73-77.

2. *Эльперин И.Т.* Повышение пропускной способности технических трубопроводов при гидротранспорте путем активации несущей жидкости / И.Т. Эльперин, Л.И. Левенталь, В.Л. Мельцер, В.А. Сиротенко, Г.А. Малькензон / Весті АН БССР, сер. фіз.-енерг. наук, 1976. №3. С.90-94.

3. *Жук Володимир.* Проблеми використання гідродинамічно активних добавок для збільшення пропускну здатності каналізаційних колекторів / Володимир Жук, Вадим Орел // Problemy Budownictwa i Inżynierii Środowiska: IV Naukowa Konferencja Rzeszowsko-Lwowska. Cz.II. Inżynieria Środowiska. Rzeszów, 15-16 wrzesień 1995. Rzeszów, 1995. С.241-246.

4. *Орел В.І.* Використання гідродинамічно активних полімерів на мережах дощової каналізації при опадах великої інтенсивності / В.І. Орел // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2017 р. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2017. С.143.

5. *Hart John.* Polymer Addition to Increase Trunk Sewer Flow Capacity at the Resort Municipality of Whistler during the 2010 Winter Olympic Games / John Hart, Lucy Cotter, and Jason Vine // 2011. 12 p. Режим доступу: [https://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF2011\\_JCH\\_Abstract.pdf](https://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF2011_JCH_Abstract.pdf).

6. *Berretz M.* Taps experience proves flow improvers can raise capacity / M. Berretz, J.G. Dopfer, G.L. Horton. // Pipeline and Gas L, 1982. 209, №11. pp.43-44, 46. (Реферативный журнал «Трубопроводный транспорт», 1983: 3.45.100).

7. *Белоусов Ю.П.* Противотурбулентные присадки для углеводородных гидкостей / Ю.П. Белоусов. Новосибирск: Наука, 1986. 144 с.

8. *Лезнов Б.С.* Частотно-регулируемый электропривод насосных установок / Б.С. Лезнов. М.: Машиностроение, 2013. 176 с. Режим доступа: [http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/Лезнов\\_ЧУП%20насосных%20установок.pdf](http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/Лезнов_ЧУП%20насосных%20установок.pdf).

9. *Осин Р.А.* Анализ известных методов повышения подачи шестеренных насосов / Р.А. Осин, Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко, А.А. Матвиенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування автоматизація. Кіровоград: КНТУ, 2009. Вип.22. С.289–300. Режим доступа: <http://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/22/46.pdf>.

10. *Orel V.* Gear pump dispenser hydrodynamical active polymers / V. Orel, I. Semkiv // BUILD-MASTER-CLASS-2016: working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scientists (November 16-18, 2016, Kyiv). Kyiv: KNUCA, 2016. P.153.

11. *Галько С.В.* Аналітичне дослідження способів регулювання подачі на насосних станціях зрошення / С.В. Галько, С.Д. Миронець // Наукові праці Донецького національного технічного університету. 2011. № 10(180). С.39-44. Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/3346>.

12. *Зняття та побудова робочої характеристики шестеренного насоса: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисциплін «Гідравлічні та аеродинамічні машини» та «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи» для студентів базових напрямів 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)», 6.060101 «Будівництво» та 6.070106 «Автомобільний транспорт» стаціонарної форми навчання / Укл.: О.В. Вербовський, В.І. Орел, І.Ю. Попадюк, Б.В. Завойко. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2017. 12 с.*

13. *Мацієвська О.О.* Експериментальні дослідження роботи побутових фільтрів водопровідної води / О.О. Мацієвська, І.А. Тихонова // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехн.". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. 2008. № 617. С.52-62.

14. *Matsiyevska O.* Influence of redox potential of different water quality on the human blood / Oksana Matsiyevska // Technology audit and production reserves. 2017. Vol. 1, N 3(33). pp.34–38, 66–67. Режим доступа: DOI: 10.15587/2312-8372.2017.93633.

15. *Kapoor J.N.* Studies on preparation, handling and applications of polyacrylamide solutions as industrial flocculants / J.N. Kapoor, D.P. Mathur // Fest. News. 1983. Vol.28, № 4. pp.40-45.

16. *Авнапов В.А.* Экспериментальное изучение гидравлических характеристик трубопроводов и центробежных насосов при перекачивании жидкостей с полимерными добавками: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Авнапов В.А.; Ташк. политехн. ин-т. Ташкент, 1974. 31 с.

17. *Макогон Б.П.* Влияние температуры на гидродинамическую эффективность полиэтиленоксида и полиакриламида / Пограничные слои в

сложных условиях / Б.П. Макогон, М.М. Павелко, А.И. Торяник. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984. С.127-133.

18. *Ishiguro S.* Surface tension of aqueous polymer solutions / S. Ishiguro, J.P. Hartnett // *Int. Commun. Heat and Mass Transfer.* 1992. Vol.19, № 2. pp.285-295. Режим доступу: DOI: 10.1016/0735-1933(92)90039-K.

19. *Жук В.М.* Регулювання витрати рідини в трубопроводах введенням у потік гідродинамічно активних додатків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 / Жук Володимир Михайлович; РДТУ. Рівне, 1999. 19 с.

20. *Орел В.І.* Установка для дослідження шестеренного насоса як дозатора гідродинамічно активних полімерів / В.І. Орел, І.Д. Семків // *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології», 10-11 жовтня 2017.* Одеса: ОДАБА, 2017. С.110-112.

21. *Чернюк В.В.* Влияние добавок полиакриламида на потери напора во внезапных сужениях и расширениях труб / В.В. Чернюк, Б.С. Пицишин, В.И. Орел, В.М. Жук // *Инж.-физ. журн.* 2002. Т.75, №4. С.115-122.

22. *Chernyuk V.V.* Influence of Polyacrylamide Additions on the Head Loss in Abrupt Contractions and Expansions of Pipes / V.V. Chernyuk, B.S. Pitsishin, V.I. Orel, V.M. Zhuk // *J. Eng. Phys. and Thermophys.* – July - August, 2002. – Vol. 75, Issue 4. pp.910-919. Режим доступу: <https://doi.org/10.1023/A:1020319219729>.

23. *Orel V.I.* Influence of the quantity of pumpings of gear pump on the dosage of hydrodynamic active polymers / V.I. Orel, O.V. Verbovskiy, T.S. Bodnar // *BUILD-MASTER-CLASS-2017: working program and proceedings of international scientific-practical conference of young scientists (November 28 – December 1, 2017, Kyiv).* Kyiv: KNUCA, 2017. 1 p.

*Стаття надійшла до редакції 17.11.17*