

УДК 621.65:62-9.001.24

І. П. КАПЛУН, М. Б. ОПРИСКО

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТУПЕНІВ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Проаналізовано основні параметри ступенів свердловинних насосів для фірм-виробників, що найбільш широко представлені на ринку України. Сформовано зведені графіки основних параметрів ступенів для умовних габаритів 8 та 10 дюймів. За зведеними графіками параметрів ступенів встановлено доцільні межі робочих діапазонів та подач для новостворюваного типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі малогабаритних осьових ступенів. Запропоновано обмежити допустиме зниження коефіцієнту корисної дії ступені на границях діапазону на рівні 3 %.

Ключові слова: водопостачання, свердловинний насос, параметри ступеня, типорозмірний ряд, ККД, осьовий ступінь

Вступ. Актуальною проблемою сьогодення в Україні є забезпечення населення якісною питною водою. Диверсифікація джерел водопостачання - життєво важлива необхідність в умовах зростання екологічних небезпек та ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Одним із способів зниження залежності від централізованого водопостачання є використання артезіанських свердловин, частка яких у загальному балансі споживання води постійно збільшується та має значні перспективи до подальшого зростання. Ступені динамічних насосів, що використовуються для підйому води із свердловин, можуть мати різноманітні конструкції та відноситися до різних типів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Відцентрові ступені забезпечують порівняно високі напори при відносно малих подачах, діагональні забезпечують менший напір при більших значеннях подач, але й мають більші осьові габарити та складніші технологічно. Зазначені вище типи ступенів в умовах існуючої тенденції до зменшення радіального габариту свердловинних насосів при одночасному зростанні їх подач мають обмеження, що витікають з їх принципу дії – для здійснення робочого процесу їм необхідна наявність певної різниці радіусів входу і виходу перекачуваної рідини в проточну частину. Відповідно при зменшенні радіальних розмірів та зростанні подачі вони неминує будуть мати складну тривимірну геометрію каналів, що тягне за собою зниження ККД, погіршення технологічності конструкції, зростання осьових габаритів та маси тощо. У описаних умовах малогабаритні осьові ступені [1, 2], не маючи принципових обмежень в радіальних розмірах (відомі осьові мікронасоси, що вбудовуються в судину серця людини [3]), забезпечують компактну та просту конструкцію, мають порівняні напори та ряд перспективних напрямів щодо покращення основних експлуатаційних показників, в тому числі і підвищення ефективності. Відповідно після виконання комплексу заходів щодо покращення показників малогабаритного осьового ступеня його можливо розглядати в якості бази для створення типорозмірного ряду високопродуктивних свердловинних насосів, призначених для підйому води зі свердловин малого діаметру.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Формування типорозмірних рядів насосного обладнання було [4, 5] і залишається [6] актуальною проблемою, що, як і раніше, постійно привертає увагу проєктантів, зусилля яких спрямовані на зниження витрат при виробництві насосів. Зокрема авторами дослідження [4] пропонується при формуванні типорозмірного ряду спиратися на подачу насоса, взяту з достатньо густого геометричного ряду

бажаних чисел, як на вихідний параметр, а також вводити ряд обмежень. Зокрема рекомендується забезпечувати можливість отримання конструктивного ряду лінійних та кутових розмірів форми проточної частини на основі законів подібності та обмежити максимальний напір однієї ступені, а при виборі потужності насосу спиратися існуючий ряд електродвигунів. Додатково у [5] розглядається доцільність встановлення єдиного ряду зовнішніх діаметрів робочого колеса для спрощення технології виробництва, а необхідні значення напору пропонується отримувати за рахунок обточування та зміни частоти обертання привідного електродвигуна.

Зазначимо, що пряме застосування підходів, використаних у [4, 5], для випадку свердловинних насосів не завжди доцільне в силу специфічних особливостей останніх. Так, зокрема, зовнішній діаметр робочого колеса заглибного насоса конструктивно жорстко обмежений внутрішнім діаметром обсадних труб, тому в одному умовному габариті свердловини він має залишатися постійним. Для малогабаритних осьових ступенів для підвищення технологічності доцільно прийняти також єдине значення діаметру втулки робочого колеса в одному умовному габариті. Відповідно ступені на різні подачі будуть відрізнятися лише лопатевою системою, а необхідні значення напору можливо отримати за рахунок зміни знаку окружної швидкості на вході в робоче колесо.

Очевидно, що для створення типорозмірного ряду необхідно володіти вичерпною інформацією про параметри ступенів представлених на ринку свердловинних насосів та їх зміну в межах рекомендованого виробником робочого діапазону (які визначаються багато в чому потребами споживача) для використання в якості орієнтиру при виборі параметрів для базових типорозмірів осьових ступенів. На ринку України протягом останніх двох десятиліть відбувається поступове заміщення свердловинних насосів, параметри яких знаходяться у відповідності з ГОСТ 10428-89 [7], продукцією зарубіжних фірм, параметри якої для різних виробників мало корелюють між собою і фактично не можуть вважатися стандартизованими. На наш погляд процес заміщення зумовлений низкою об'єктивних причин (суттєво нижча якість вітчизняних насосів за такими ключовими показниками як ефективність і надійність, постійне зростання вартості електроенергії та ін.) та має тенденцію до продовження у майбутньому. Відповідно орієнтуватися при створенні типорозмірного ряду на параметри з ГОСТ 10428-89 виглядає недоцільним, а на міжнародному рівні загальноновизнаного нормативного документа для свердловинних насосів на зразок ISO 2858:1975 [8] за

доступною авторам інформацією на даний час не розроблено. В той же час для заглибних електродвигунів свердловинних насосів загальноприйнятим у світовій практиці є виконання приєднувальних розмірів та ряду потужностей у відповідності до нормативних документів NEMA [9], які можна вважати де-факто міжнародним стандартом, що забезпечує взаємозамінність двигунів різних виробників. Крім того, заглибні електродвигуни мають стандартну частоту обертання 3000 об/хв, що у сукупності з фіксованим рядом потужностей при відомих значеннях подач дає основу для створення ряду напорів свердловинних насосів.

Мета і задачі дослідження. Відповідно до зазначеного вище, першим кроком при проведенні дослідження має бути вивчення досвіду розробки свердловинних насосів та виконання статистичного аналізу параметрів їх ступенів для основних фірм – виробників, представлених на ринку України. В якості наступного кроку можливо розглядати формування на основі отриманої інформації вимог до малогабаритних осьових ступенів та їх параметрів та показників (в тому числі і експлуатаційних) для створення конкурентоспроможного насосного обладнання. Зазначимо, що наведений нижче аналіз не претендує на вичерпність і обмежується фірмами, продукція яких була за думкою авторів найбільш широко представлена на ринку України на момент виконання дослідження.

Методика обробки даних каталогів фірм-виробників. Статистична обробка параметрів ступенів свердловинних насосів виконувалася для наступних фірм-виробників: Calpeda S.p.A., Caprari S.p.A.,

Lowara, Rovatti Pompe S.p.A., SAER Elettropompe S.p.A. (Італія), Wilo SE (Німеччина), Grundfos (Данія), Vogel Pumpen (Австрія). Параметри ступенів були визначені з каталогів, що доступні на офіційних сайтах підприємств. Точність розрахунку параметрів визначалася з одного боку точністю їх зазначення в каталогах, а з іншого – можливістю отримання їх з відповідних графічних характеристик.

Параметри ступенів визначалися у точках, що відповідали режиму максимального ККД. Напір ступені для зменшення похибки визначався за формулою:

$$H_{cm} = \frac{H_{10} - H_5}{5}$$

де H_{10} – напір свердловинного насосу, що має 10 ступенів; H_5 – напір свердловинного насосу, що має 5 ступенів.

Отримані значення параметрів ступенів групувалися в окремі графіки, для вибору прогнозних значень подач для новостворюваного типорозмірного ряду осьових ступенів.

Приклад обробки даних каталогів фірм-виробників. На рис. 1 для прикладу наведені результати опрацювання даних з каталогу свердловинних насосів фірми Calpeda S.p.A. У відповідності до наведених даних, ступені зазначеного виробника забезпечують для 8" та 10" умовних габаритів ряд подач від 70 до 275 м³/год при максимальних напорах відповідно 18 м і 31 м на ступінь та досить помірного рівні ефективності (78-79% та 70 % відповідно). Окремо слід відзначити порівняно високі вимоги до мінімального напору на вході в ступінь (8 та 10 м відповідно).

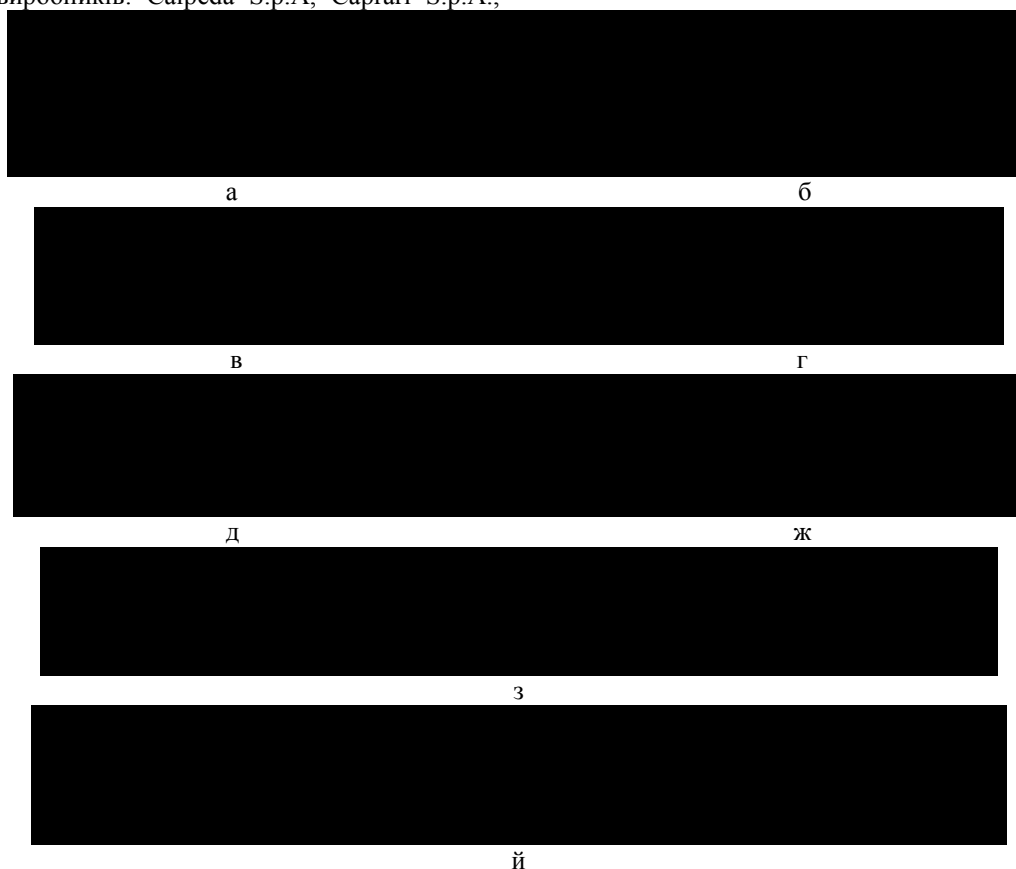


Рис. 1 – Параметри ступенів виробництва фірми Calpeda умовного габариту 8" та 10": а, б – значення напорів $H_{ном}$ в номінальних точках; в, г – значення ККД $\eta_{ном}$ в номінальних точках; д, ж – значення допустимого кавітаційного запасу NPSHr в номінальних точках; з – номери точок на графіках та відповідні їм марки насосів за каталогом; й – діапазони значень параметрів ступенів насосів

Аналіз зведених графіків параметрів ступенів.

З огляду на обмежений об'єм статті результати статистичної обробки наводяться нижче лише у вигляді зведених графіків значень параметрів ступенів для 8'' та 10'' умовних габаритів.

Аналізуючи зведені графіки на рис. 2, можливо визначити кращі значення напору ступеня (Vogel TVS8.3 – 22 м, SAER 181B - 22 м, Wilo NK86 – 20 м), його ККД (Vogel TVS8.4, LOWARA Z125, SAER S181D близько 82%) та допустимого кавітаційного запасу (Grundfos SP 95 – 3,7 м, Vogel TVS8.3 – 4 м, Caprari E8S64 – 4,2 м), які в подальшому доцільно використовувати в якості орієнтиру при створенні типорозмірного ряду осьових ступенів.

Як відомо з [4], загальноприйнятим в насособудуванні допустимим зниженням значення ККД насосу на границях робочого діапазону вважається 5%. Зважаючи на постійне зростання вимог до ефективності насосного обладнання у відповідності до Директив ЄС та нормативних документів EuroPump [наприклад 10, 11], доцільно прийняти для новостворюваного типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі осьового ступеня допустиме зниження ККД на границях робочого діапазону на рівні 3%. Експериментальні дані [12] показують, що для малогабаритної осьової ступені у обраному діапазоні значень коефіцієнта швидкохідності ($ns \approx 300..400$) зазначений рівень зниження ККД відповідає робочому діапазону подач з граничними значеннями орієнтовно 0,88 - 1,16 Qопт. Відповідно для отриманого зведеного графіку параметрів ступенів для умовного габариту 8'' для відповідного діапазону подач можливо попередньо орієн-

туватися на три базові ступені з подачами в районі 90, 120 та 150 м³/год.

Аналізуючи зведені графіки параметрів ступенів для умовного габариту 10'' на рис. 3, аналогічно визначаємо кращі значення напору ступеня (SAER S-253A – 38 м, SAER S-252B – 35м, LOWARA Z10150 – 34 м), його ККД (Vogel 10.2TV – 83 %, LOWARA Z125, SAER S181D – 82 %) та допустимого кавітаційного запасу (SAER NR-250C – 4,3 м, Grundfos SP 125, Caprari E10R40 - 4,5 м).

Аналогічно зазначеному вище, для зведеного графіку (рис. 3) для відповідного діапазону подач можливо орієнтуватися також на три базові ступені з подачами в районі 160, 210 та 280 м³/год.

Відповідно при визначених базових подачах та наявному фіксованому ряду потужностей заглибних електродвигунів за нормативними документами NEMA, можливо однозначно визначити мінімальні та максимально досяжні напори насосів для кожного умовного габариту. Приймаючи до уваги, що поширеною практикою для фірм – виробників є комплектація насосів привідними електродвигунами меншого умовного габариту (наприклад двигун 6'' умовного габариту в комплекті з насосом умовного габариту 8''), отримаємо достатньо широкі можливості до забезпечення потреб споживачів.

Для більш точного підбору параметрів насосу до конкретної мережі доцільно додатково використовувати закрутку потоку з різним (додатнім або від'ємним) знаком на вході в робоче колесо, так як можливість виконати обточування для робочих коліс осьового типу відсутня.

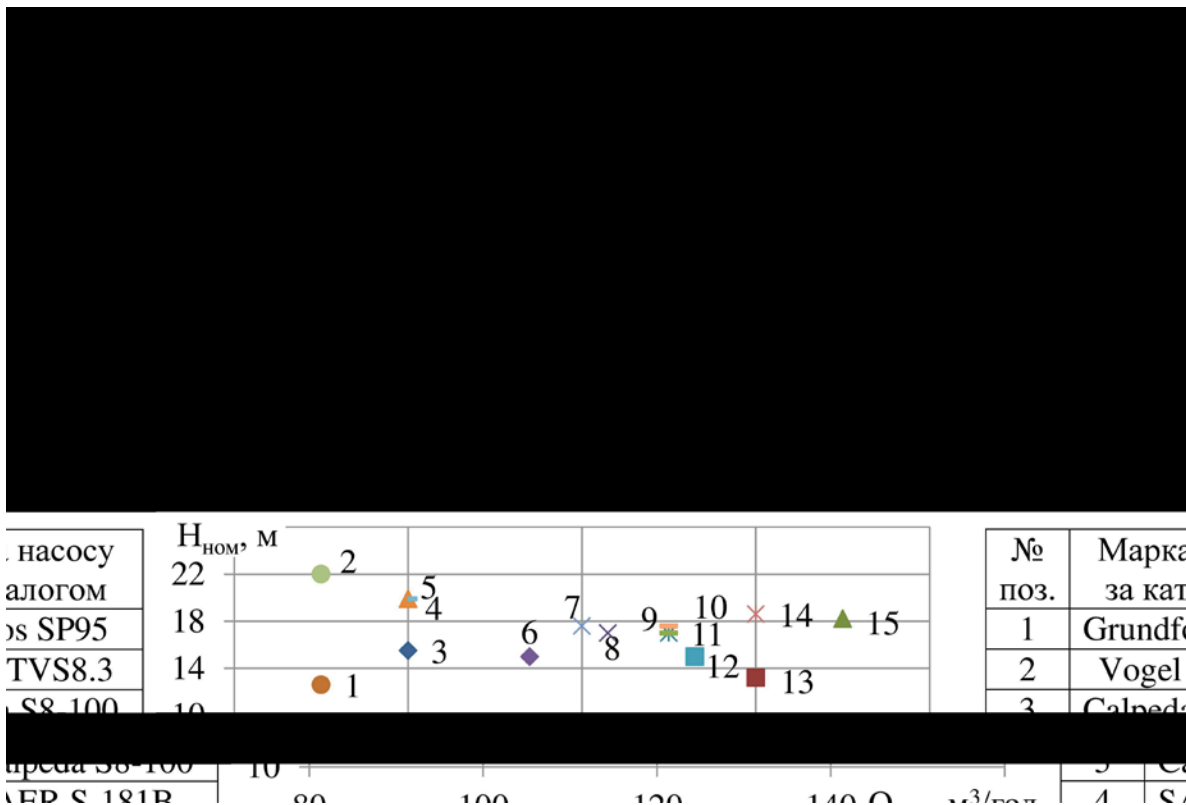


Рис. 2 – Зведений графік значень напорів $H_{ном}$, ККД $\eta_{ном}$, допустимого кавітаційного запасу NPSHr для ступенів насосів умовного габариту 8''

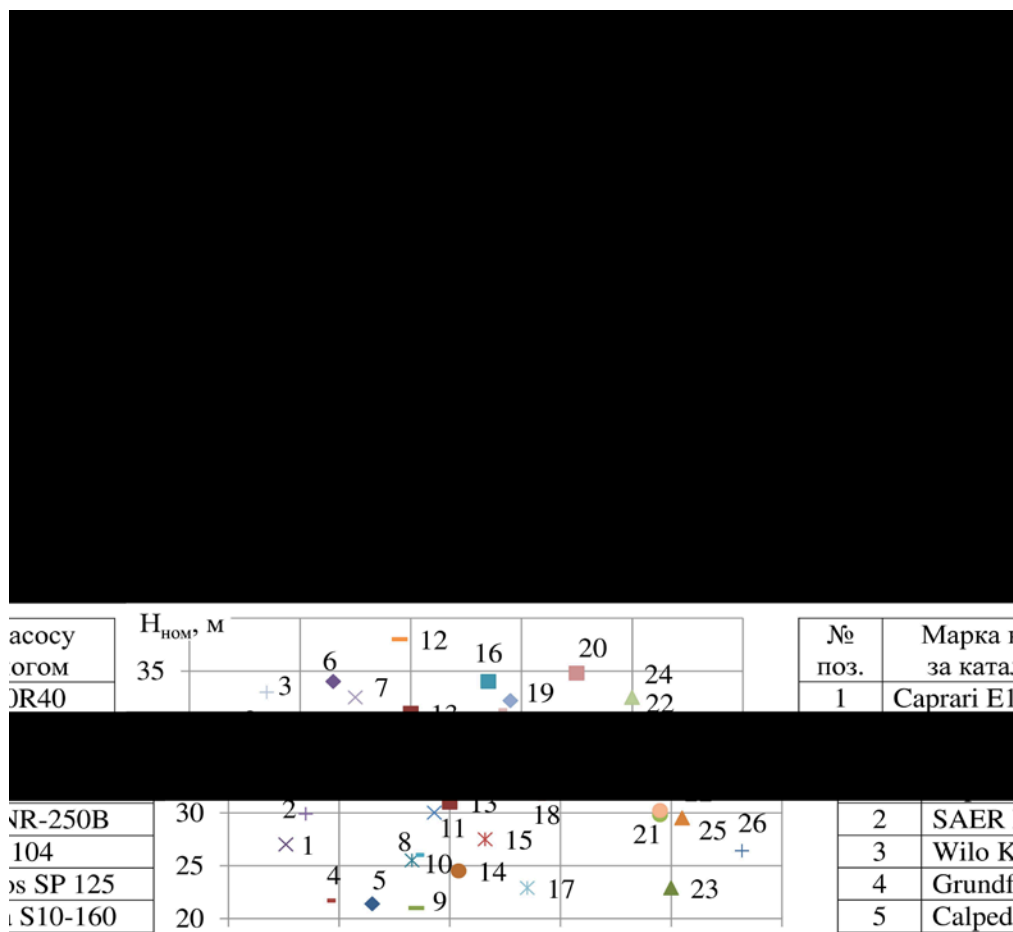


Рис. 3 – Зведений графік значень напорів $H_{ном}$, ККД $\eta_{ном}$, допустимого кавітаційного запасу NPSHr для ступенів насосів умовного габариту 10''

Висновки. В результаті виконаного статистичного аналізу параметрів ступенів свердловинних насосів було визначено кращі параметри для умовних габаритів 8" та 10", які доцільно використовувати в якості орієнтиру при створенні типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі малогабаритних осьових ступенів. На основі даних зведених графіків параметрів попередньо обрані по три базові осьові ступені для умовних габаритів 8" та 10" з подачами 90, 120, 150 м³/год та 160, 210, 280 м³/год відповідно. Отримані значення подач підлягають подальшому уточненню та коректуванню з огляду на необхідність забезпечення можливості перекриття усього діапазону потрібних подач свердловинних насосів з мінімальним зниженням ефективності (не більше 3%) на границях робочої області.

Додатково слід зазначити, що прямої кореляції між зростанням подачі і переходом до діагонального типу робочих органів та рівнем ККД у ступенів свердловинних насосів не спостерігається. Навпаки, у деяких виробників при зростанні подачі рівень ККД знижується до 76-75 %, що надає додаткових переваг осьовим ступеням, що не мають принципових обмежень в радіальних розмірах та рівнях подач.

Список літератури: 1. *Kaplun, I.* Application of small-sized low speed axial stages in well pumps for water supply [Text] / *A. Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun* // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 39. – P. 35–42. 2. Багатоступінчастий осьовий насос [Текст]: пат. 87142 Україна: МПК F04D 3/00 / *Кaplun, I. П., Матвієнко, О. А., Гусак, О.*

Г.; заявник і власник Сумський державний університет. – № U201309177; заявл. 22.07.13; опубл. 27.01.2014, бюл. № 2. – 5 с. 3. *Frazier, O.* Optimization of axial-pump pressure sensitivity for a continuous-flow total artificial heart [Text] / *O.H. Frazier, Hassan A. Khalil, Robert J. Benkowski, William E. Cohn* // *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. – 2010. – Vol. 29, Issue 6. – P. 687–691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healun.2009.12.017>. = 4. *Федосова, В. И.* Унификация размерных рядов динамических насосов [Текст] / *В. И. Федосова, О. В. Яременко* // *Химическое и нефтяное машиностроение*. – 1989. – №2. – С. 5–7. 5. *Федосова, В. И.* Единый размерный ряд – основа конструктивной унификации динамических насосов / *В. И. Федосова* // *Химическое и нефтяное машиностроение*. – 1989. – №6. – С. 13–15. 6. *Tverdokhle, I.* Creating a Standard Size Range as One of the Factors Reducing Production Time of Modern Pumping Equipment [Text] / *I. Tverdokhle, A. Semenov, A. Ivanyushin, O. Nientsev, A. Rudenko* // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 630. – P. 137–142. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.137>. 7. ГОСТ 10428-89 Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Основные параметры и размеры [Текст]. – Введ. 1990-01-07. — М. : Изд-во стандартов, 1990. – 27 с. 8. ISO 2858:1975 Насосы центробежные с осевым входом (номинальное давление 16 бар). Обозначение, номинальные параметры и размеры. – Режим доступа: \www/URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2858:ed-2:v1:en>. 9. NEMA Motor and Generator Standards <http://www.nema.org/Standards/Pages/All-Standards-by-Product.aspx?ProductId=f6107549-40c5-4110-9a4c-dd7215bf1e60> EUROPUMP Guide to Variable Speed Electro Submersible Pumps - May 2008. 10. Europump Guideline on the application of COMMISSION REGULATION (EU) No 547/2012, implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water pumps – October 2012. 11. *Kaplun, I.* Investigation of Small-Sized Axial-Flow Stage of a Borehole Pump for Water Supply [Text] / *O. Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun, A. Kochevsky* // *Proceedings of the 4th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems*. – 2011. – P. 143–150.

Bibliography (transliterated): 1. Gusak, A., Demchenko, O., Kaplun, I. (2012). Application of Small-Sized Low Speed Axial Stages in Well Pumps for Water Supply. *Procedia Engineering*, Volume, 39, 35–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.005>. 2. Kaplun, I., Matvienko, O., Gusak, O. (2013). Bagatostupeneyiy osoviy nasos [Multistage axial-flow pump]. Patent Ukrainy No U201010364. 22.07.13. 3. Frazier O.H., Hassan A. Khalil, Robert J. Benkowski, William E. Cohn (2010). Optimization of axial-pump pressure sensitivity for a continuous-flow total artificial heart. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, Vol. 29, Issue 6, 687–691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healun.2009.12.017>. 4. Fedosova, V., Yaremenko, O. (1989). Unifikatsiya razmernykh ryadov dinamicheskikh nasosov. *Himicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 2, 5 – 7. 5. Fedosova, V. (1989). Ediniy razmernyy ryad – osnova konstruktivnoy unifikatsii dinamicheskikh nasosov. *Himicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 6, 13–15. 6. Tverdokhleby, I., Semenov, A., Ivanyushin, A., Niemtsev, O., Rudenko, A. (2014). Creating a Standard Size Range as One of the Factors Reducing Production Time of Modern Pumping Equipment, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, 137–142.

<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.137>. 7. GOST 10428-89. Centrifugal water well electrically driven pump units. Basic parameters and dimensions. 8. ISO 2858:1975. End-suction centrifugal pumps (rating 16 bar) -- Designation, nominal duty point and dimensions. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:is_o:2858:ed-2:v1:en. 9. NEMA Motor and Generator Standards <http://www.nema.org/Standards/Pages/All-Standards-by-Product.aspx?ProductId=f6107549-40c5-4110-9a4c-dd7215bf1e60>. EUROPUMP Guide to Variable Speed Electro Submersible Pumps - May 2008. http://europump.net/uploads/Variable_Speed_Electro_Submersible_Pumps_Final_Draft.pdf. 10. Europump Guideline on the application of COMMISSION REGULATION (EU) No 547/2012, implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water pumps - October 2012. http://europump.net/uploads/2012_09_12_Guideline_For_547-2012%20FINAL_02%20October2012_clean2b.pdf. 11. Gusak, O., Demchenko, O., Kaplun, I., Kochevsky, A. (2011). Investigation of Small-Sized Axial-Flow Stage of a Borehole Pump for Water Supply. Proceedings of the 4th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, 143–150.

Поступила (received) 10. 11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кaplun Ігор Петрович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки; вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, 40007; e-mail: kaplun@pgm.sumdu.edu.ua.

Кaplun Ігорь Петрович – кандидат технических наук, Сумский государственный университет, доцент кафедры прикладной гидроаеромеханики; ул. Рымского-Корсакова 2, м. Сумы, 40007

Kaplun Igor – candidate of technical science, Sumy State University of Ukraine, associate professor department of applied hydro- and aeromechanics; Rymского-Korsakova 2, Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: oprysko89@gmail.com.

Оприско Михайло Богданович – аспірант, Сумський державний університет, Кафедра прикладної гідроаеромеханіки; вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, 40007; тел.: 066-40-650-43; e-mail: oprysko89@gmail.com.

Опрыско Михаил Богданович – аспирант, Сумский государственный университет, Кафедра прикладной гидроаеромеханики; ул. Рымского-Корсакова 2, м. Сумы, 40007; тел.: 066-40-650-43;

Oprysko Mykhailo – PhD student, Sumy State University of Ukraine, The department of applied hydro- and aeromechanics; Rymского-Korsakova 2, Sumy, Ukraine, 40007; тел.: 066-40-650-43; e-mail: oprysko89@gmail.com

УДК 664.83.047.8

С. Ю. ПОПОВА, Р. П. НИКИФОРОВ, А. В. СЛАЩЕВА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА ПРИСКОРОНИМ СПОСОБОМ

У роботі запропоновано принципову апаратурну схему технологічного процесу виробництва сухої картопляної добавки (СКД) отриману із вторинних продуктів переробки картоплі (ВППК). На підставі результатів досліджень функціональних властивостей сухої картопляної добавки та її впливу на фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні властивості дріжджового напівфабрикату та готової продукції, а також встановлених режимів та умов її введення у рецептуру запропоновано апаратурне рішення технологічного процесу отримання виробів з дріжджового тіста прискореним способом.

Наведені схеми підібрані для підприємств як великої потужності, так і для пекарень з неповним виробничим циклом.

Ключові слова: вторинні продукти переробки картоплі, суха картопляна добавка, апаратурна схема, технологічний процес, дріжджове тісто.

Вступ. Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю створення прискореної технології дріжджового тіста для хлібопекарної промисловості шляхом використання добавки із ВППК як джерела легкозасвоюваних цукрів, що дозволяє форсувати технологічний процес тістоутворення за рахунок попередньої активації дріжджів (ПАД). Використання добавки із ВППК в технологіях хлібобулочних виробів з дріжджового тіста дозволить не тільки раціонально використовувати сировинні ресурси, а й створити прискорену технологію дріжджового тіста без використання небезпечних речовин.

В практиці світового хлібопекарського виробництва економічно розвинених країн все більшого розвитку набуває впровадження нових інтенсивних тех-

нологій, орієнтованих на пекарні невеликої потужності та міні-пекарні. Ці технології більш гнучкі, ніж традиційні, дозволяють оперативно реагувати на вимоги ринку у задоволенні населення свіжими виробами.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Найбільш актуальним в технологіях дріжджових виробів в малих пекарнях, є прискорені способи тістоведіння [1, 2]. Таким чином, розвиток хлібопекарського виробництва за рахунок будівництва малих пекарень є перспективним, а створення нових технологій дріжджових виробів для них є актуальним напрямком.

У технологічній практиці виробництва дріжджового тіста для хлібопекарних виробництв найбільш