

УДК 621.65

О.Г. Гусак, канд. техн. наук,  
О.А. Демченко,  
І.П. Каплун, канд. техн. наук  
Сумський державний університет

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОСЬОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ АРТЕЗІАНСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Приведен анализ перспектив применения осевых проточных частей низкой быстроходности в погружных скважинных насосах, используемых для артезианского водоснабжения.*

*The article analyzes the prospects of application of axial flow parts of low type characteristic in the submersible borehole pumps for artesian water supply.*

### Вступ

Сьогодні проблема постачання питної води надзвичайно гостро постала не тільки у нашій країні, але й в усьому світі. Вчені констатують [1], що в Україні подекуди відхилення якості води від норми сягає 80%. Тенденція до погіршення спостерігається у великих містах та населених пунктах біля р. Дніпро, а також в південно-східних регіонах.

Однією з причин незадовільної якості питної води є значне забруднення поверхневих водоїв — основних джерел питного водопостачання — у зв'язку з викидами у них великої кількості неочищених та недостатньо очищених промислових, господарсько-побутових та сільськогосподарських стічних вод, дощових та талих вод з полів, територій сіл та міст [2]. Використання підземних вод з артезіанських свердловин стає все більш перспективним завдяки їх максимальній наближеності до споживача, зручності облаштування та експлуатації водозаборів, чистоти видобутої води і економічності у порівнянні з відкритими поверхневими водозаборами.

За деякими оцінками в загальному об'ємі водопостачання в Україні вода із свердловин займає зараз близько 32% [3], у майбутньому ця частка очевидно буде тільки збільшуватися.

### Постановка проблеми

Для видобутку артезіанської води з підземних джерел на теперішній час широко використовуються заглибні свердловинні насосні агрегати типу ЕЦВ (Е — електропривідні, Ц — відцентрові, В — для води). Крім систем водопостачання, заглибні агрегати застосовуються для зниження рівня ґрунтових вод під час будівельних робіт, а також в системах вертикального дренажу. Насоси, що входять до їх складу (рис. 1), як правило, багатоступеневі, з робочими колесами відцентрового чи діагонального типу [3]. Насосні агрегати типу ЕЦВ для різних умовних габаритів свердловин можуть працювати з подачею у діапазоні від 0,63 до 1000 м<sup>3</sup>/год та напором від 12 до 680 м. Перекачуване середовище — вода з загальною мінералізацією (сухий залишок) не більше 1500 мг/л, з водневим показником від

6,5 до 9,5 з температурою 25 °С і масовою долею твердих механічних домішок не більше 350 мг/л.

Експлуатація даних насосів супроводжується низкою проблем.

Першу групу складають проблеми, пов'язані з помилками при монтажі та експлуатації насосного обладнання. Досить часто при монтажі електронасосів знімають з них зворотні клапани. Це призводить до гідравлічних ударів під час вимкнення насосів, особливо при наявності горизонтальних ділянок [4]. Також серйозними помилками є самостійне переобладнання насоса під нестандартне монтажне з'єднання, що нерідко призводить до поломки вала насоса чи хвостовика ротора. Внаслідок недостатнього охолодження двигуна під час експлуатації (через монтаж електронасоса в свердловині більшого діаметра, пониження напруги в електромережі, зміну динамічного рівня води в свердловині, тощо) часто відбувається оплавлення обмоток статора.

Також типовим явищем є використання на водозаборах насосів, які не відповідають параметрам (подачі та напору), потрібним для забезпечення роботи насосної системи, що призводить до збільшення енерговитрат. Це може бути викликано як неправильним вибором насоса, так і зміною параметрів мережі з часом. Установка насоса зі значним «запасом» призводить до передчасного виходу його з ладу, перевантаженню двигуна, роботи в нестійких режимах тощо [4].

Другу групу складають проблеми, пов'язані власне з конструкцією насосного обладнання. Переважно більшість конструкцій насосів типу ЕЦВ було розроблено у другій половині минулого століття, і якість конструктивних рішень, які використовувались при проєктуванні, а також закладені в конструкції матеріали не задовольняють потреби сучасних споживачів і, незважаючи на чисельні модернізації, не завжди відповідають сучасному науково-технічному рівню.

Третю групу складають проблеми, пов'язані з властивостями перекачуваного середовища. Наявність у воді кислот, сірководню, заліза та ін. призводить до швидкої корозії деталей насоса, утворення свищів і виходу його з ладу. Аналогічні явища виникають при перекачуванні

води, насиченої газами: так звана робота в режимі «сухо-го ходу», коли насос перекачує не тільки ту воду, що поступає знизу, але й збагачену киснем з верхніх шарів свердловини. Крім того, в даному режимі насос разом з водою захоплює повітря і нагрівається, тобто додатково створюються сприятливі умови для корозії [4]. Руйнування деталей насосів відбувається також через так звану біокорозію.

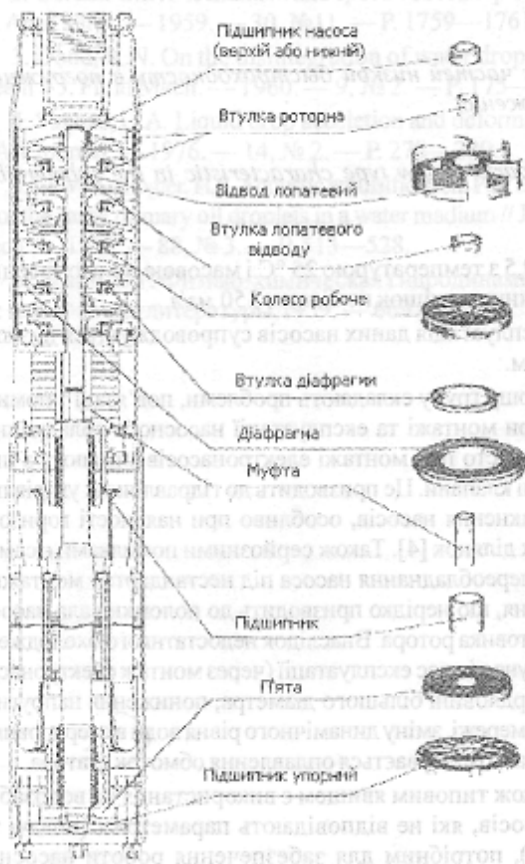


Рис. 1. Один з видів конструкції насосу ЕЦВ.

Наявність твердих включень у перекачуваному середовищі призводить до підвищеного зносу конструктивних елементів проточної частини, різкого зменшення ресурсу та поступового падіння параметрів насоса. Перекачувана вода змачує підшипники ковзання насоса (пара тертя — гума—сталь), тому будь-який абразивний матеріал у ній призводить до їх швидкого виходу з ладу, що викликає руйнування всього агрегата.

Усе вищевказане у сукупності призводить до коротких строків експлуатації до ремонту (9–12 місяців), підвищеного зносу деталей насоса, суттєвих перевитрат електроенергії та до низької ремонтопридатності насоса.

Тому на сьогоднішній день в Україні існує значна потреба в заглибних свердловинних насосах із збільшеним строком експлуатації до капітального ремонту, покраще-

ними енергетичними та напірними характеристиками, із зменшеними струмовими навантаженнями на обмотки двигунів і т.д. Крім того, типорозмірні насоси, які виробляються сьогодні у відповідності до ГОСТ 10428-89, орієнтовані на використання низькодебетних свердловин. За базову витратність вітчизняних 6-дюймових насосів прийнято витрату  $10 \text{ м}^3/\text{год}$ , в той час як за кордоном це значення сягає  $25 \text{ м}^3/\text{год}$ , у 8-дюймових — відповідно 25 і 65, 10-ти дюймових — 63 і 120, 12-дюймових 160 і 250 [5]. Вказана тенденція до використання високовитратних машин за кордоном зумовлена тим, що при їх використанні можливо суттєво зменшити експлуатаційні витрати, оскільки для свердловин з такими насосами поточні витрати та витрати на експлуатацію трубних мереж знижуються на 10–12%.

**Основна частина**

При виборі насосного обладнання користувачі, розглядаючи пропозиції-аналоги, найчастіше віддають перевагу варіантам з найменшою початковою ціною, не звертаючи уваги на вартість експлуатації. У той же час вибір найкращого варіанта на думку авторів [6] повинен виконуватися з позиції мінімізації загальної величини витрат за період служби обладнання. В умовах жорсткої конкуренції боротьба за мінімізацію витрат, враховуючи витрати на придбання та експлуатацію обладнання, стала особливо гострою, і насосне обладнання неможливо розглядати як таке, що може бути відремонтованим та заміненим на більш сучасне без уваги на витрати. Тому актуальним є аналіз витрат протягом життєвого циклу або LCC (Life Cycle Cost), який показує, що початкова вартість придбання є лише малою частиною вартості «життєвого циклу» насосів [7]. Аналіз вартості життєвого циклу призначено для мінімізації величини загальних витрат, максимізації енергоефективності насосних систем та знаходження найбільш ефективних рішень. Компонентами аналізу вартості звичайно є: початкова вартість, вартість монтажу, витрати на електроенергію, експлуатаційні витрати, вартість ремонту, вартість простою, екологічні витрати, вартість утилізації — тобто сума усіх статей витрат:

$$LCC = C_{\text{п.к.}} + C_{\text{м.}} + C_{\text{ен.}} + C_{\text{експл.}} + C_{\text{рем.}} + C_{\text{пр.}} + C_{\text{екол.}} + C_{\text{ут.}}$$

У багатьох випадках витрати на обслуговування, запасні частини, незаплановані простої, втрату продуктивності, зміну ушільнень складатимуть суттєву частину в LCC, та перевищувати витрати на початкову вартість та поточні експлуатаційні витрати [7]. Проведені розрахунки LCC показують, що на даний момент вітчизняні насоси мають меншу вартість життєвого циклу в порівнянні із закордонними аналогами. Але це пов'язано з відносно низькою вартістю електроенергії. При зростанні тарифів на електроенергію та їх наближенню до європейського рівня вибір на користь дешевшого вітчизняного обладнання ставатиме все менш доцільним. Зважаючи на це, більшість виробників насосного обладнання схильються до думки про необхідність прийняття активних дій, спрямованих на модернізацію насосного обладнання, що випускається [8].



Рис. 2. Вартість життєвого циклу насосу.

Основні напрями модернізації насосів визначаються з аналізу ЛСС. Деякі з них є достатньо очевидними — підвищення ККД, збільшення строку служби, підвищення показників надійності та ремонтпридатності. Порівняльний аналіз ЛСС насосів вітчизняного виробництва із закордонними аналогами став причиною для проведення виробниками [5, 9] програм модернізації насосів ЕЦВ, основною метою якої є підвищення надійності та енергетичної ефективності свердловинних насосів, через зменшення вартості їх життєвого циклу.

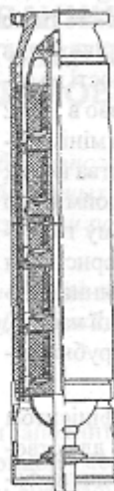
На даний час для вирішення проблем експлуатації насосів типу ЕЦВ виробники використовують два шляхи — модернізацію приводного електродвигуна та модернізацію насосної частини.

Модернізація приводного двигуна, в основному, полягає у створенні герметичного заглибного електродвигуна, що виключає контакт внутрішньої порожнини двигуна з перекачуваним середовищем, яке може містити абразивні та агресивні компоненти. Це значно підвищує довговічність двигуна і забезпечує стабільність його роботи протягом усього терміну експлуатації.

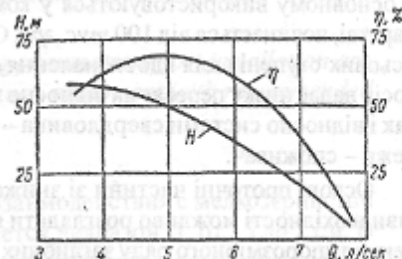
Модернізація насосної частини у більшості випадків має два напрями. По-перше, це вдосконалення міжступеневих ущільнень та ущільнень робочих коліс, опор вала за рахунок створення нових конструкцій та використання зносостійких матеріалів [5]. По-друге, це, власне, вдосконалення проточної частини. Заглибний ступінь з відцентровим робочим колесом має низку недоліків: помірне значення ККД, зростаюча крива характеристики потужності, що часто призводить до виходу двигуна з ладу при запуску на відкриту засувку та ін. Використовувані при підвищених коефіцієнтах швидкохідності (для збільшення подачі в обмежених радіальних габаритах) діагональні ступені мають низку додаткових недоліків: значно ускладнюється технологія виготовлення, а тому і вартість, збільшуються осьові габарити і металоємність насоса. Крім того забез-

печення роботи діагональних ступенів на вищих, ніж зазначені у ГОСТ 10428-89, подачах є досить проблематичним.

У той же час аналіз існуючих конструкцій насосів показує [10], що є можливість зміни діагональної проточної частини на осьову низької швидкохідності ( $n \approx 300$ ) зі значенням ККД на рівні або незначно нижче, ніж у традиційних (наземних) осьових насосах.



а)



б)

Рис. 3. а) Заглибний насос осьового типу для свердловини з внутрішнім діаметром 150 мм; б) Характеристика осьового свердловинного насоса [10].

Перші спроби створення таких насосів (рис. 3а) було виконано у роботах [11, 12]. На жаль, недосконалість тогочасного технологічного оснащення не дозволила створити якісний дослідний зразок насоса. Це негативно позначилося на його енергетичних та напірних характеристиках (рис. 3б) [11].

Беручи у увагу значний розвиток технологій у ливарному виробництві, який відбувся за останні 40 років, доцільним є застосування осьових ступенів низької швидкохідності у заглибних свердловинних насосах. Це дозволить суттєво покращити вказані насоси за рахунок наступних переваг:

- осьові проточні частини мають високий гідравлічний ККД (на рівні 87–90%), є всі підстави очікувати збереження даного рівня ККД і при зниженні коефіцієнта швидкохідності до  $n = 300$ ;
- при заданих параметрах вони забезпечують найбільш просту та компактну конструкцію, що особливо актуально в обмежених умовах свердловини;
- осьові проточні частини з відкритими каналами технологічніші за відцентрові при серійному ливарному виробництві і дозволяють широко використовувати корозійностійкі матеріали з невисокими ливарними якістьми, що, у свою чергу, дозволяє забезпечити стабільність параметрів у процесі експлуатації та значно підвищити ресурс насоса;



при зносі осьових робочих коліс у процесі експлуатації осьове зусилля (яке є одним з основних руйнуючих факторів для насосів типу ЕЦВ) не зростає, як у відцентрових машинах, а зменшується, що, з однієї сторони, дозволяє значно підвищити ресурс опорного вузла та насоса в цілому, а з іншої — уникнути підвищеного споживання електроенергії.

Та вочевидь вирішальною перевагою використання осьових робочих органів у свердловинних насосах для водопостачання є те, що вони надають можливість різко (в 1,5–2 рази) підвищити подачу насоса у порівнянні з відцентровими ступенями. Відповідно, за наявності на водозаборі свердловин з високим дебітом можливо в 1,5–2 рази збільшити об'єм води, що видобувається, з мінімальними капітальними витратами — без будівництва нових свердловин, вартість яких для габаритів 8 та 10 дюймів, що в основному використовуються у комунальному господарстві, починається від 100 тис. грн. Отже, використання осьових ступенів для вдосконалення свердловинних насосів надає низку переваг як відносно конструкції насоса, так і відносно системи свердловина – насос – трубна мережа – споживач.

Осьові проточні частини зі зниженим коефіцієнтом швидкохідності можливо розглядати як основу для створення типорозмірного ряду заглиблених свердловинних багатоступеневих насосів, призначених для заміни існуючих конструкцій насосів типу ЕЦВ.

Основними споживачами таких насосних агрегатів традиційно є підприємства комунального господарства, промислові та інші підприємства, які мають потребу у підйомі великих об'ємів рідини із свердловин з метою водопостачання, водозниження або водовідведення.

#### Висновки

1. На даний час в Україні існує нагальна потреба в заглиблених свердловинних насосах із збільшеним строком експлуатації до капітального ремонту, покращеними енергетичними та напірними характеристиками, із збільшеною витратністю, із зниженими струмовими навантаженнями на обмотки двигунів.

2. Існуючі конструкції не можуть забезпечити ці вигоди, а також мають низку недоліків, тому виробники насосного обладнання приймають заходи щодо модернізації насосів типу ЕЦВ, в основному за рахунок використання

нових зносостійких матеріалів і модернізації проточної частини.

3. Перспективним вважаємо створення осьових проточних частин, які мають високий гідравлічний ККД та можуть забезпечувати високі значення подачі при мінімальних радіальних габаритах, що особливо важливо в умовах експлуатації свердловин.

4. Також перспективним виглядає створення типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі осьової проточної частини низької швидкохідності.

#### Література

1. www.ecoleague.net.
2. www.bluefilters.ua.
3. Шепеленко, О.О., Свтушенко, А.О., Каплун, І.П. Вдосконалення протічних частин насосів типу ЕЦВ // Промислова гідравліка і пневматика. — 2009. — №3(25). — С.49—54.
4. Жулов, В. Об эксплуатации погружных скважинных электронасосов // Насосы и оборудование. — 2005. — №2(31)—3(32). — С. 38—39.
5. www.livgidromash.ru
6. www.wilo.by
7. www.rccenter.sp.ru
8. Твердохлеб, И., Костюк, А., Князева, Е., Солодченков В. Снижение стоимости жизненного цикла скважинных насосов ЭЦВ для воды // Праці 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Герметичність, вібронадійність та екологічна безпека насосного та компресорного обладнання» — «ГЕРВІКОН 2008» — Суми: Вид-во СумДУ, 2008 — С. 379—386.
9. www.bavleny.ru
10. Центробежные и осевые насосы / А.А. Ломакин — М.: Машиностроение, 1966. — 364с.
11. Папир, А.Н. Малогабаритные глубинные насосы // Труды Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина — 1955. — №177. — С. 42—48.
12. Папир, А.Н. Осевые насосы водометных движителей (основы теории и расчета) — Л.: Судостроение, 1985. — 242с.

Надійшла 28.09.2010 р.