

УДК 621.224.24

СЕРІЙНІ НАСОСИ У СКЛАДІ МАЛИХ ГІДРОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В ЯКОСТІ ГІДРОМАШИН ЗВОРотної дії

А.П. Вербовий, кандидат технічних наук

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20А

По мірі збільшення встановлених потужностей відновлюваних джерел енергії на основі сонячних та вітроелектростанцій збільшується необхідність у маневрових (резервних) джерелах потужності. Таким джерелом маневрової потужності може бути гідроакумулювальна електростанція. Гідроакумулювальна електростанція за досить тривалий час зарекомендували себе як відносно прості і надійні станції, що володіють максимальними маневреними можливостями - швидким набором та скиданням навантаження, великим діапазоном регулювання. В якості енергетичного обладнання гідроакумулювальної електростанції вибрано серійний насос, для якого розраховані параметри в турбінному режимі. Бібл. 25, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: гідроакумулювальна електростанція, турбіна, насос, подача, напір, потужність.

PRODUCTION PUMPS IN THE COMPOSITION OF SMALL PUMPED HYDRO ENERGY STORAGE AS A REVERSIBLE HYDRO MACHINE

A. Verbovij

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine,
Hnata Khotkevycha, 20A, 02094, Kyiv-94, Ukraine

As the installed capacity of renewable energy sources based on solar and wind power plants increases, there is an increased need for shunting (reserve) power sources. Such a source of maneuvering power may be a hydroelectric power station. The hydroelectric power station has proved itself to be relatively simple and reliable power plants with the maximum maneuverability - fast loading and unloading, and a large range of regulation - for a fairly long time. As a power equipment of a hydroelectric power station a serial pump has been selected for which the parameters in the turbine mode are calculated. References 25, tables 1, figures 3.

Keywords: pumped hydro energy storage, turbine, pump, feed, pressure, power.



А.П. Вербовий
A. Verbovij

Відомості про автора: старший науковий співробітник відділу гідроенергетики, Інституту відновлюваної енергетики НАНУ.

Освіта: вища, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут".

Спеціальність: "Електропривод та автоматизація промислових установок".

Публікації: 126.

ORCID: 0000-0003-2838-6032

Контакти: тел./факс: +38-044-206-28-09,
e-mail: hydro@ive.org.ua

Information about the author: Senior Research of Hydropower Engineering Department, Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine

Education: National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute".
Specialty: "Electric drive and automation of industrial plants".

Publications: 126.

ORCID: 0000-0003-2838-6032

Contacts: +38-044-206-28-09,
e-mail: hydro@ive.org.ua

Перелік умовних позначень

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВЕС – вітроелектростанція;

ГАЕС – гідроакумулювальна електростанція;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

N – потужність;

H – напір;

Q – витрата;

η – гідравлічний коефіцієнт корисної дії.

Вступ. При формуванні перспективних шляхів розвитку електроенергетики України повинен враховуватися досвід як вітчизняної так і світової науки. Скорочення запасів органічного палива та зростаючі проблеми екології привертають все більший інтерес у світі до використання природних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Останні кілька десятиків років розвитку відновлюваної енергетики були відзначені процесом удосконалення технологій ВДЕ: новими розробками в області енергоефективності, прогресом в області розробки енергетичного обладнання та програмного забезпечення, досягненнями в області накопичування енергії. У перспективі виробництво енергії, що використовує органічне паливо (вугілля, природний газ, мазут, дизельне паливо), може зіткнутися з низкою складних економічних, транспортних і екологічних проблем. Відсутність на внутрішньому ринку країни енергетичної альтернативи, може привести до негативних наслідків через поступове виснаження традиційних енергоносіїв. У зв'язку із цим є необхідність у використанні альтернативних, ефективних та економічно вигідних способів енергозабезпечення споживачів [1].

Застосування гідроаккумуляторних електростанцій – надійний спосіб зберігання електроенергії. Електрична енергія має три основні особливості: генерація, передача і споживання. З розвитком ВДЕ на основі сонячної та вітроенергії (зі змінним графіком видачі потужності) до цих особливостей додається четверта – зберігання. Ефективним способом зберігання електроенергії є використання потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок, водотоків, морської води [2-4].

Сонячні та вітроелектростанції мають нестійкий режим виробництва електроенергії. Генерування електроенергії сонячними електростанціями проходить по певному циклу, тобто тільки в денний час, з максимумом по полудні. Зовсім по іншому проходить виробництво електроенергії вітроелектростанціями (ВЕС). Швидкість вітру (величина яка змінна в часі [5]) істотно впливає на генерування електроенергії ВЕС, тобто воно непостійне, нерегульоване й непередбачене. Ці всі фактори впливають на надійність і ефективність енергосистеми. По мірі збільшення

встановлених потужностей ВДЕ на основі сонячних та вітроелектростанцій – збільшується необхідність у маневрових (резервних) джерелах потужності. Таким джерелом маневрової потужності може бути гідроаккумуляторна електростанція (ГАЕС) [6, 7]. ГАЕС за досить тривалий час зарекомендували себе як відносно прості і надійні електростанції, що володіють максимальними маневреними можливостями - швидким набором та скиданням навантаження, великим діапазоном регулювання, що дорівнює сумі насосної і турбінної потужності.

В Україні на території Азово-Чорноморського узбережжя існує багато привабливих ділянок для побудови морських малих ГАЕС [8-10]. Однією із таких ділянок для створення малої ГАЕС може слугувати територія о. Зміїний в Чорному морі. В даний час на цьому острові виробництво електроенергії для місцевих споживачів здійснюється за допомогою дизельної та сонячної електростанцій, також споруджується ВЕС. В майбутньому споживання електроенергії буде збільшуватися, а отже будуть збільшуватись аварійні і нестабільні ситуації в постачанні електроенергії споживачам. Потреби у резервних маневрених джерелах потужності будуть збільшуватися, пропорційно зі збільшенням встановленої потужності сонячних і вітроелектростанцій. Одним із варіантів вирішення такої проблеми може бути побудова малої ГАЕС, для якої не потрібно нижнє і велике верхнє водосховище. В якості верхнього водоймища може бути використаний один або декілька напірних резервуарів, а в якості нижнього буде слугувати море. Основною проблемою створення малої ГАЕС є відносно висока собівартість обладнання, до якого входять: гідротурбіна, генератор, системи автоматизації та управління, напірні трубопроводи, резервуари, з'єднувальні кабелі, монтажні металоконструкції, допоміжне обладнання. В даний час в світі при будівництві сучасних ГАЕС застосовується двомашинна схема, при якій насос працює як в насосному, так і зворотному режимах, а двигун в генераторному. Застосування гідроенергообладнання в такому режимі пояснюється меншими затратами.

В гідроенергетичному машинобудуванні існує велика кількість різновидів турбін, але на

ГЕС і ГАЕС використовуються наступні види турбін: пропелерна, поворотно-лопатева, радіально-осьова (реактивні) і ківшева турбіни (активна) рис. 1. В залежності від напору застосовується той, або інший вид турбін. Так при напорах від 2 до 40 м застосовуються пропелерні і поворотно-лопатеві турбіни, при напорах від 10 до 350 м радіально-осьові турбіни, а при напорах від 50 до 1300 м ківшеві турбіни. Для використання в якості турбін можуть застосовуватись всі види насосів, перевага яких полягає в наступному:

- номенклатура насосів, що випускаються промисловістю на порядок більша ніж турбін;

- насоси комплектуються двигунами які можуть бути використані в якості генераторів;
- великий вибір конструкцій насосів з вертикальним або горизонтальним розташуванням;
- значно нижча відносна собівартість обладнання, а в наслідок і собівартість самої малої ГАЕС.

Основні недоліки використання насосів в якості турбін:

- більш низький коефіцієнт корисної дії (ККД) ніж у турбін;
- відсутність швидкодіючого регулятора витрат води.

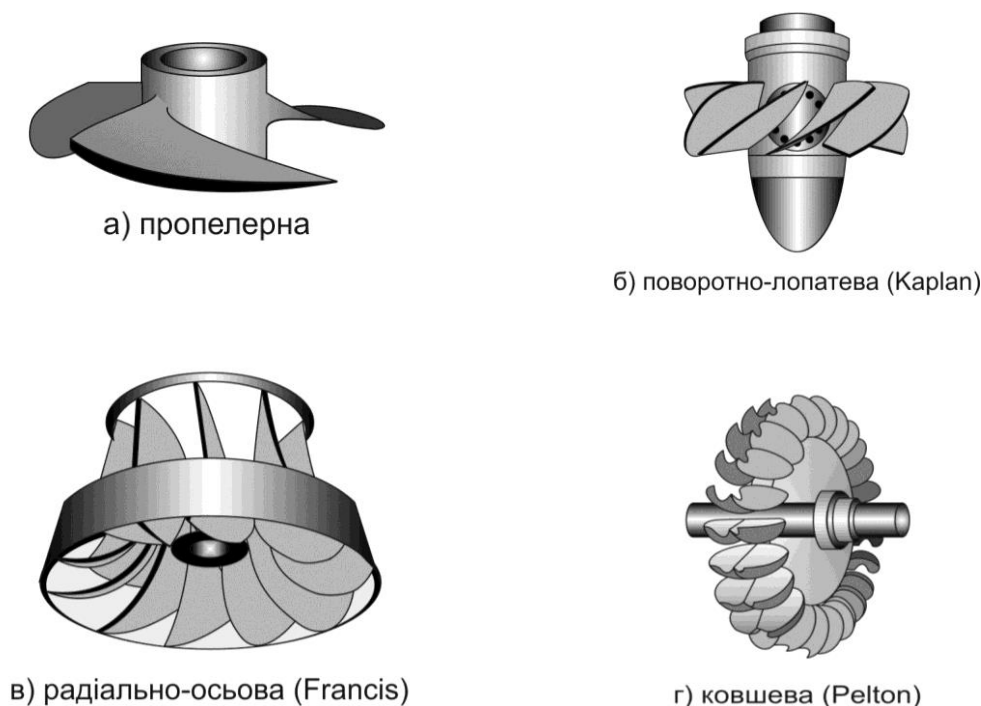


Рис. 1. Види турбін.

Fig. 1. Types of turbines.

На рис. 2 зображено межі застосування серійних насосів в залежності від потужностей, напору і витрат [11, 12]. Серійні насоси можуть встановлюватися на малих ГАЕС в якості гідромашин зворотної дії замість турбін, і вони покривають широкий діапазон по напору (10-100 м) і витратам (0.01-10 м³/с). Особливість використання насоса в якості турбіни полягає в тому, що при однаковому числі обертів витрата насоса становить тільки частину витрати, отриманої при роботі його в якості турбіни, якщо подоланий

насосом напір рівний напору турбіни [13, 14].

Дослідження можливості використання насосів у якості турбін для генерування енергії проводилися в 90-х роках в Німеччині [13, 15], Англії [16], Ірані [17], Індії [18, 19] та інших країнах. Зростання останнім часом кількості публікацій про проведення досліджень з даної тематики в Англії, США, Росії, а також про застосування в країнах, що розвиваються [19, 20] підтверджує необхідність і перспективність використання насосів у малій гідроенергетиці [14].

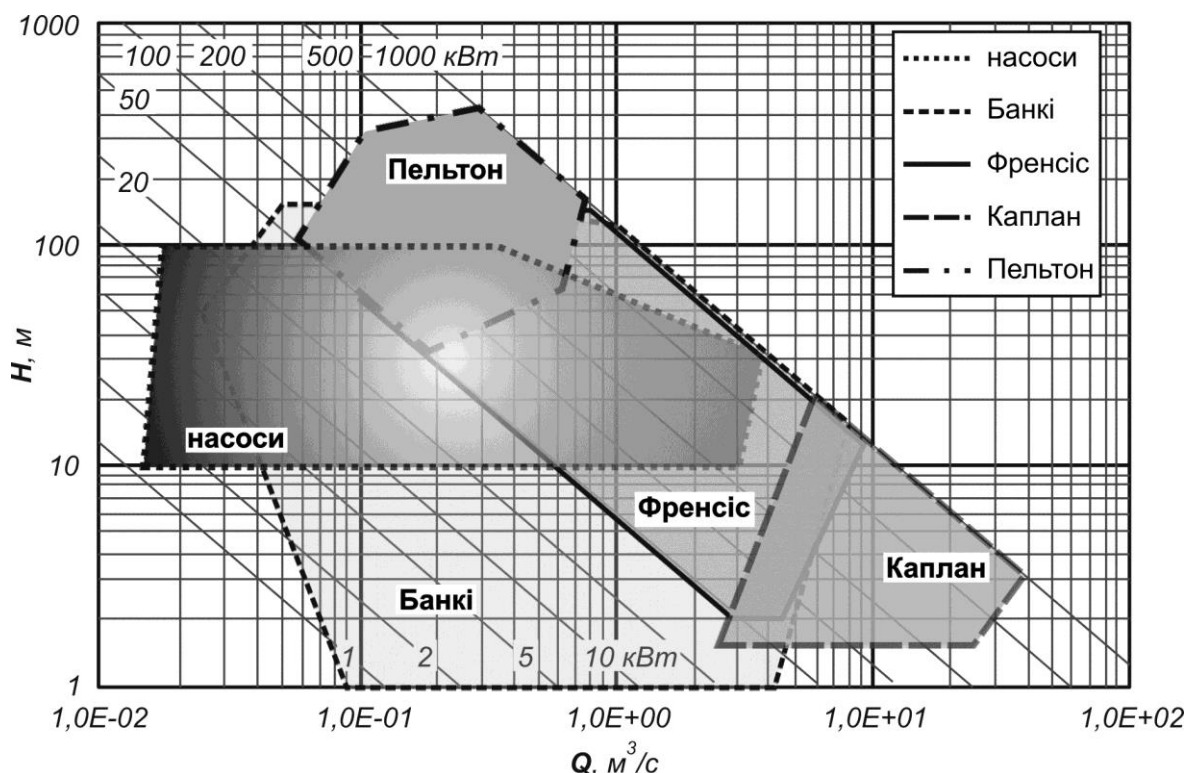


Рис. 2. Межі застосування серійних насосів в турбінному режимі для напорів від 2 до 1000 м.

Fig. 2. Pumps in turbine mode of operation may be applied for heads between 2 and almost 1000 m.

Вибір серійного насосу для малої ГАЕС.

Вибір насосу здійснюємо на прикладі спорудження малої ГАЕС на о. Зміїний. При роботі насосу в прямому і зворотному режимах необхідно визначитись з характеристиками в насосному і турбінному режимах [21- 23]. Найбільша висота на острові складає 41 м, середня 20 м. Тоді з урахуванням висоти резервуару, що складає 12 м, напір, що розвиває гідроагрегат в насосному режимі, повинен складати не менше $H_n = 32$ м. Попередньо приймаємо потужність в турбінному режимі $N = 30$ кВт. Із виразу для потужності відібраною турбіною від протікання рідини

$$N = 9,81QH_n\eta_m \quad (1)$$

знаходимо витрату $Q = 0,102$, м³/с де $\eta_m = 0,88$ – ККД гідроагрегату в турбінному режимі. Експериментальні характеристики насосів наводяться в технічній документації до них, а в турбінному режимі такі характеристики відсутні. Під час роботи ГАЕС напір створюваний в насосному режимі більше, ніж в турбінному. З цього витікає,

що при виборі серійної гідромашини для роботи в зворотному режимі, необхідно виходити із напору, що розвивається в насосному режимі.

З великої номенклатури насосів, можна вибрати ті, які за типом і за характеристиками задовольняли їх застосування в якості гідромашини зворотної дії. По визначеному напору, подачі і рис. 2 вибираємо насос з радіально-осьовою (Френсіса) турбіною. Проаналізувавши номенклатуру насосів що випускає вітчизняна промисловість, попередньо виберемо наступні типи: ГР, ГРА – ґрунтові; К, 1К, 2К – консольні для води; К-Е консольні для нафти; КМ – консольні моноблочні; СМ – фекальні для стічних мас; Х – для хімічної промисловості; ЦНА – для атомних станцій. Із всієї наведеної групи насосів зупиняємося на типі СМ, так як він найбільше відповідає по раніше вибраним характеристикам – подачі, напору і потужності. Також цей тип насосів відповідає по кліматичному виконанні та категорії розміщення. Корпус насоса являє собою чавунний відливок, в якому виконані вхід в насос і вихідний патрубок, спіральні-кільцевий відвід та опорні лапи. Вхід в насос розташований по осі обер-

тання, вихідний патрубок спрямований вертикально вгору і розташований в одній площині з віссю обертання колеса. Конструкція вихідного патрубку передбачає як кругле так і квадратне виконання. Робоче колесо-відцентрове, одностороннього входу, закритого типу. Робоче колесо розвантажено від осевих сил радіальними лопатка-

ми на несучому диску колеса. Ротор насоса приводиться в обертання електродвигуном через втулково-пальцеву муфту. Обслуговування агрегатів періодичне і не вимагає постійної присутності персоналу. Показники призначення за параметрами в номінальному режимі для деяких насосів типу СМ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики насосів в номінальному режимі

Table 1. Specifications of pumps in nominal mode

Назва агрегату	Номін. подача, м³/год	Номін. напір, м	Робоча зона		Кавіт. запас, м	Електродвигун		
			подача, м³/год	напір, м		марка	кВт	об/хв
СМ 100-65-200-2	100	50	40...125	43...56	4,0	АИР200М2	37	3000
СМ 100-65-200а-2	100	32	34...107	30...41	4,0	АИР180S2	22	3000
СМ 100-65-250а-2	90	70	45...105	66...78	6,0	АИР200М2	37	3000
СМ 100-65-250б-2	80	60	40...100	54...70	6,0	АИР180М2	30	3000
СМ 150-125-315-4	200	32	100...250	27...35	3,0	АИР200М4	37	1500
СМ 150-125-400а-4	200	40	110...230	38...44	4,0	АИР 200L4	45	1500
СМ 150-125-400б-4	300	32	110...230	30...34	4,0	АИР 200L4	45	1500
СМ 200-150-315-4	400	32	250...500	30...38	5,0	АИР 250S4	75	1500
СМ 200-150-400б-4	300	32	150...350	30...38	7,0	АИР 200L4	45	1500

З таблиці 1 вибираємо насос СМ 200-150-400б-4 з наступними номінальними даними: подача – 300 м³/год, напір – 32 м і кавітаційний запас – 7 м. Насос комплектується асинхронним двигуном потужністю 45 кВт і в разі необхідності може бути замінений на синхронний аналогічної потужності. Основні технічні показники (напір, потужність, ККД) від подачі при постійних значеннях частоти обертання робочого колеса, в'язкості і щільності рідини на вході в насос зображені на рис. 3. Точні характеристики насоса при роботі в зворотному (турбінному) режимі будуть відрізнятися від характеристик зображених на рис. 3. Такі характеристики можливо отримати тільки експериментальним шляхом. Для попередніх розрахунків характеристик в турбінному режимі можна скористатися наближеними формулами. Так по формулі Шарма [13, 24] подача і напір дорівнюють

$$Q_m = \frac{Q_p}{\eta_{\max p}^{0.8}}, \quad H_m = \frac{H_p}{\eta_{\max p}^{1.2}} \quad (2)$$

де індекси “р” і “т” – відповідно насосний і турбінний режими ($Q_m = 424$ м³/год; $H_m = 53$ м).

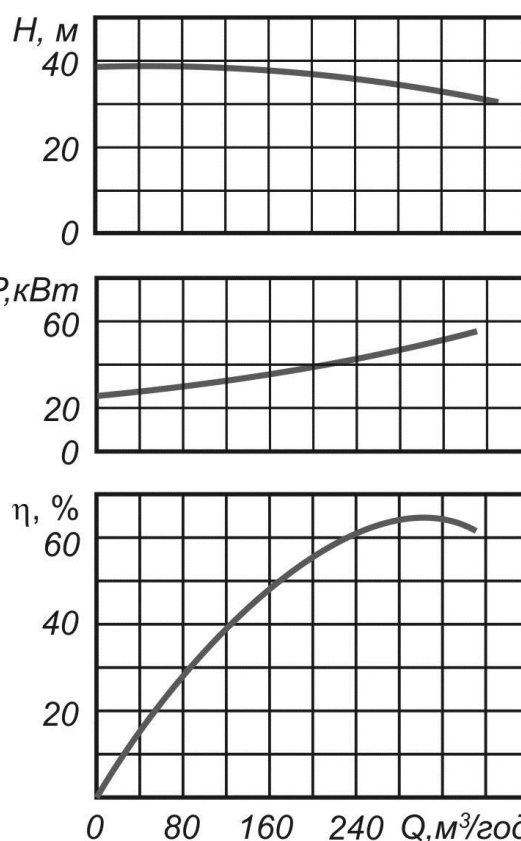


Рис. 3. Характеристики насосу СМ 200-150-400б-4.

Fig. 3. Characteristics of the pump SM 200-150-400b-4.

В монографії [25] вирази для подачі і напору визначаються виразами

$$Q_m = \frac{Q_p}{\eta_h}, \quad H_m = \frac{H_p}{\eta_{hp}\eta_{hm}} = \frac{H_p}{\eta_h^2} \quad (3)$$

де η_h – гідравлічний ККД, прийнятий однако-вим для насосного і турбінного режимів. Так як точне значення гідравлічного ККД невідомо, то наближено приймаємо його рівним $\sqrt{\eta_p}$. Розраховані по формулі (3) подача і напір складають $Q_m = 372$ м³/год, $H_m = 35$ м у турбінному режимі. Відповідно потужність в турбінному режимі для першого (2) і другого (3) випадку складає 49 і 28,5 кВт. Як видно результати розраховані по формулам (2) і (3) суттєво відрізняються, так по подачі різниця складає 24%, по напорі 44% і по потужності 41%. В зв'язку з відсутністю даних по ККД серійних насосів невеликої потужності при роботі в турбінному режимі, використаємо наближені дані із практики експлуатації існуючих ГАЕС, так відомо, що потужність в турбінному режимі складає 70–75% від насосного режиму. Тоді для вибраного серійного насоса потужність при роботі в турбінному режимі повинна складати 31,5–33,75 кВт. Порівнюючи розраховану потужність серійного насоса в турбінному режимі з показниками із практики експлуатації ГАЕС бачимо, що вона майже не відрізняється, розбіжність розрахунку не перевищує 10%.

Висновки. При нестійкому виробництві електроенергії на сонячних та вітроелектростанціях, спорудження поруч з ними ГАЕС являє собою надійне джерело резервної потужності. Для вибору енергетичного обладнання малих ГАЕС перспективним може бути використання в якості турбін і генераторів серійних насосів і електродвигунів. Вибраний типорозмір серійного насоса для малої ГАЕС дозволить оснастити станцію недорогим, надійним гідродвигуном, який забезпечує ККД перетворення енергії на рівні 70–75%.

1. Мхитарян Н. М. Основные направления и стратегия развития возобновляемой энергетики в Украине / Н. М. Мхитарян // Відновлювана енергетика. – 2005. – № 1. – С. 8–18.

2. Васько П. Ф. Гидроаккумулирующие электростанции на морской воде – технологическая основа крупномасштабного использования ветровой и солнечной энергии в электроэнергетической системе Крыма / П. Ф. Васько, М. Р. Ибрагимова, С. Т. Пазыч // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2014. – № 15. – С. 38–49. – ISSN 1608-8298.

3. Васько П. Ф. Технические предпосылки создания морских гидроаккумулирующих электростанций для энергии возобновляемых источников / П. Ф. Васько, С. Т. Пазыч // Alternative Energy and Ecology; ISJAEE. – 2015. – № 15-16 (179-180). – С. 40–46. – ISSN 1608-8298.

4. П.Ф. Васько, А.П. Вербовий, М.Р. Ібрагімова, С.Т. Пазич. Гідроакмулювальні електростанції – технологічна основа інтеграції потужних вітро- та фотоелектричних станцій до складу електроенергетичної системи України // Гідроенергетика України. – 2017. – №1-2. – С.20-25.

5. П.Ф. Васько, А.П. Вербовий, С.Т. Пазич. Реалізація стохастичної двопараметричної моделі поздовжньої складової швидкості вітру для задач вітроенергетики // Відновлювана енергетика. – 2017. – №3. – С.54-61.

6. Серебряников Н. И., Родионов В. Г., Кулешов А. П., Магрук В. И., Иванущенко В. С. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2000. – 368 с. – ISBN 5-93196-024-4.

7. Синюгин В. Ю., Магрук В. И., Родионов В. Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2008. – 352 с. – ISBN 978-593196-917-6.

8. Д. В. Холодов, Е. В. Обухов, В. Н. Степанов, С. Я. Полнарев. Нетрадиционные стратегии в освоении природных энергоресурсов приморских регионов Украины / Д. В. Холодов, Е. В. Обухов, В. Н. Степанов, С. Я. Полнарев. – О.: Астропринт, 2003. – 162 с.

9. С.Т. Пазич. Аналіз конструктивних аналогів морських ГАЕС // Відновлювана енергетика. – 2015. – №3. – С.62-66.

10. С.Т. Пазич. Оцінка технічних параметрів морської гідроакмулюючої станції для енергії відновлюваних джерел // Відновлювана енергетика. – 2015. – №2. – С.66-71.

11. Engeda A. Auswahl von Kreiselpumpen als Turbinen / A. Engeda, P. Strate, M. Rautenberg // Pumpentagung Karlsruhe'88, Sektion A6, Fachgemeinschaft Pumpen im VDMA, Frankfurt/Main, Oktober 1988. – P. 12–19.

12. В.Н. Дедков. Применение серийных насосов в качестве гидротурбин для малой энергетики // Проблемы машиностроения. – 2011. – Т. 14, № 4. – С.24-30.

13. Schnitzer V.: Pumpenantriebe mit regenerativer Energie; ihre besondere Anforderungen an Pumpen. Pumpentagung Karlsruhe'92, Fachgemeinschaft Pumpen im VDMA, Frankfurt/Main, Oktober 1992, Beitrag A5-11

14. Pumps as turbines for hydraulic energy recovery and small hydropower purposes in Poland (<https://www.researchgate.net/publication/269992946>)

15. Baumgarten S. Pumpen als Turbinen / S. Baumgarten, W. Guder // KSB Pump company, Technik kompakt, July 2005. – № 11. – P. 2–9.

16. Williams A. A. The turbine performance of centrifugal pumps: a comparison of prediction methods / A. A. Williams // Proc. IMech. Part A. – 1994. – Vol. 208. – P. 59–66.

17. Nourbakhsh A. Mini and Micro Hydropower Stations for Production Inexpensive Energy / A. Nourbakhsh, S. Derakhshan // *HIDROENERGIA* 2008-05-04, Intern. Conf. and Exhibition, SMALL HYDROPOWER, Bled-Slovenia, 11-13 June 2008.

18. Singh P. Performance Evaluation of the Pump as Turbine based Micro Hydro Project in Kinko Village, Tanzania / P. Singh, V. Ramasubramanian, A. Rao // *Himalayan Small Hydropower Summit*, Dehradun, India, October 12–13, 2006. – P. 159–166.

19. Maher P. Assessment of pico hydro as an option for off-grid electrification in Kenya / P. Maher, N. A. Smith, A. A. Williams // *J. Renewable Energy*. – 2003, Vol. 28. – P. 1357–1369.

20. Singh P. Experimental and Computational Studies of the Effect of "Casing Eye Rib" on the Swirl Flow at the Exit of a Pump as Turbine / P. Singh, J. T. Kshirsagar, S. Caglar // *Proc. ASME Heat Transfer. – Fluids Eng. – July 2004, Charlotte, North Carolina, USA, ASME HT-FED2004*.

21. В.Э. Дранковский, М.Ю. Хавренко. Определение расчетных параметров высоконапорных обратимых гидромашин // *Вісник НТУ "ХПІ"*. – 2016. – № 20 (1192) – С.81-84. – ISSN 2411-3441

22. Н.Н. Аршеневский. Обратимые гидромашин гидроаккумулирующих электростанций / Н.Н. Аршеневский. – М.: Энергия. 1977. – 239 с.

23. Г. И. Кривченко. Гидравлические машины: Турбины и насосы / Г. И. Кривченко. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

24. Williams A.: Pumps as turbines. A user's guide. Intermediate Technology Publications, London, 1995.

25. Степанов А. И. Центробежные и осевые насосы / А. И. Степанов. – М.: Машгиз, 1960. – 464 с.

СЕРИЙНЫЕ НАСОСЫ В СОСТАВЕ МАЛЫХ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КАЧЕСТВЕ ГИДРОМАШИН ОБРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ

А.П. Вербовой, канд. техн. наук

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины
02094, г. Киев, ул. Гната Хоткевича, 20А

Рассмотрена возможность использования гидроаккумулирующей электростанции, как источника резервной мощности для солнечных и ветроэлектростанций. В качестве энергетического оборудования гидроаккумулирующей электростанции выбрано серийный насос, для которого рассчитаны параметры в турбинном режиме. Библ. 25, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: гидроаккумулирующая электростанция, турбина, насос, подача, напор, мощность.

REFERENCES

1. Mhitaryan N. M. Osnovnyie napravleniya i strategiya razvitiya vozobnovlyаемoy energetiki v Ukraine / N. M. Mhitaryan // *Vidnovlyuvana energetika*. – 2005. – № 1. – S. 8–18.

2. Vasko P. F. Gidroakkumuliruyushchie elektrostantsii na morskoy vode – tehnologicheskaya osnova krupnomasshtabnogo ispolzovaniya vetrovoy i solnechnoy energii v elektroenergeticheskoy sisteme Kryima / P. F. Vasko, M. R. Ibragimova, S. T. Pazyich // *Alternativnaya energetika i ekologiya (ISJAE)*. – 2014. – № 15. – C. 38–49. – ISSN 1608-8298.

3. Vasko P. F. Tehnicheskie predposylki sozdaniya morskikh gidroakkumuliruyushchikh elektrostantsiy dlya energii vozobnovlyаемykh istochnikov / P. F. Vasko, S. T. Pazyich // *Alternative Energy and Ecology ; ISJAE*. – 2015. – № 15-16 (179-180). – S. 40-46. – ISSN 1608-8298.

4. P.F. Vasko, A.P. Verboviy, M.R. Ibragimova, S.T. Pazich. Gidroakkumuliruyushchiye elektrostantsii – tehnologicheskaya osnova integratsii potuzhnykh vtro- ta fotoelektrichnykh stantsiy do skladu elektroenergeticheskoy sistemi Ukrainy // *Gidroenergetika Ukrainy*. – 2017. – №1-2. – S.20-25.

5. P.F. Vasko, A.P. Verboviy, S.T. Pazich. Realizatsiya stohasticheskoy dvoparametricheskoy modeli pozdovzhnoy skladovoy shvidkosty vtro dlya zadach vtroenergetiki // *Vidnovlyuvana energetika*. – 2017. – №3. – S.54-61.

6. Serebryanikov N. I., Rodionov V. G., Kuleshov A. P., Magruk V. I., Ivanushenko V. S. Gidroakkumuliruyushchie elektrostantsii. Stroitelstvo i ekspluatatsiya Zagorskoy GAES. – M.: Izdatelstvo NTs ENAS, 2000. – 368 s. – ISBN 5-93196-024-4.

7. Sinyugin V. Yu., Magruk V. I., Rodionov V. G. Gidroakkumuliruyushchie elektrostantsii v sovremennoy elektroenergetike. – M.: Izdatelstvo NTs ENAS, 2008. – 352 s. – ISBN 978-593196-917-6.

8. D. V. Holodov, E. V. Obuhov, V. N. Stepanov, S. Ya. Polnarev. Netraditsionnyie strategii v osvoenii prirodnih energoresurov primorskih regionov Ukrainy / D. V. Holodov, E. V. Obuhov, V. N. Stepanov, S. Ya. Polnarev. – O.: Astroprint, 2003. – 162 s.

9. S.T. Pazich. Analiz konstruktivnykh analogiv morskikh GAES // *Vidnovlyuvana energetika*. – 2015. – №3. – S.62-66.

10. S.T. Pazich. Otsinka tehnicheskikh parametrov morskoy gidroakkumuliruyushchey stantsii dlya energii vidnovlyuvanih dzherel // *Vidnovlyuvana energetika*. – 2015. – №2. – S.66-71.

11. Engeda A. Auswahl von Kreisläufpumpen als Turbinen / A. Engeda, P. Strate, M. Rautenberg // *Pumpentagung Karlsruhe'88, Sektion A6, Fachgemeinschaft Pumpen im VDMA, Frankfurt/Main, Oktober 1988*. – P. 12–19.

12. V.N. Dedkov. Primenenie seriynykh nasosov v kachestve gidroturbin dlya maloy energetiki // *Problemy mashinostroeniya*. – 2011. – T. 14, № 4. – S.24-30.

13. Schnitzer V.: *Pumpenantriebe mit regenerativer Energie; ihre besondere Anforderungen an Pumpen*. Pumpentagung Karlsruhe'92, Fachgemeinschaft Pumpen im VDMA, Frankfurt/Main, Oktober 1992, Beitrag A5-11

14. Pumps as turbines for hydraulic energy recovery and small hydropower purposes in Poland (<https://www.researchgate.net/publication/269992946>)

15. Baumgarten S. Pumpen als Turbinen / S. Baumgarten, W. Guder // KSB Pump company, Technik kompakt, July 2005. – № 11. – P. 2–9.

16. Williams A. A. The turbine performance of centrifugal pumps: a comparison of prediction methods / A. A. Williams // Proc. IMech. Part A. – 1994. – Vol. 208. – P. 59–66.

17. Nourbakhsh A. Mini and Micro Hydropower Stations for Production Inexpensive Energy / A. Nourbakhsh, S. Derakhshan // HIDROENERGIA 2008-05-04, Intern. Conf. and Exhibition, SMALL HYDROPOWER, Bled-Slovenia, 11-13 June 2008.

18. Singh P. Performance Evaluation of the Pump as Turbine based Micro Hydro Project in Kinko Village, Tanzania / P. Singh, V. Ramasubramanian, A. Rao // Himalayan Small Hydropower Summit, Dehradun, India, October 12–13, 2006. – P. 159–166.

19. Maher P. Assessment of pico hydro as an option for off-grid electrification in Kenya / P. Maher, N. A. Smith, A. A. Williams // J. Renewable Energy. – 2003, Vol. 28. – P. 1357–1369.

20. Singh P. Experimental and Computational Studies of the Effect of "Casing Eye Rib" on the Swirl Flow at the Exit of a Pump as Turbine / P. Singh, J. T. Kshirsagar, S. Caglar // Proc. ASME Heat Transfer. – Fluids Eng. – July 2004, Charlotte, North Carolina, USA, ASME HT-FED2004.

21. V.E. Drankovskiy, M.Yu. Havrenko. Opredelenie raschetnykh parametrov vyisokonapornykh obratimnykh gidromashin // VIsnik NTU "HPI". – 2016. – № 20 (1192) – C.81-84.– ISSN 2411-3441

22. N.N. Arshenevskiy. Obratimnye gidromashiny gidroakkumuliruyushchih elektrostantsiy / N.N. Arshenevskiy. – M.: Energiya. 1977. – 239 s.

23. G. I. Krivchenko. Gidravlicheskie mashiny: Turbiny i nasosy / G. I. Krivchenko. – M.: Energoatomizdat, 1983. – 320 s.

24. Williams A.: Pumps as turbines. A user's guide. Intermediate Technology Publications, London, 1995.

25. Stepanov A. I. Tsentrobeznyie i osevyie nasosy / A. I. Stepanov. – M.: Mashgiz, 1960. – 464 s.

SYNOPSIS

When forming the perspective ways of developing the power industry of Ukraine should take into account the experience of both domestic and world science. The reduction of organic fuels and the growing environmental problems are attracting increasing interest in the use of natural renewable energy sources (RES). The last few decades of renewable energy development have been marked by the process of refining RES technologies: new developments in energy efficiency, progress in the development of energy equipment and software, achievements in the area of energy conservation.

In Ukraine, on the territory of the Azov-Black Sea coast, there are many attractive sites for the construction of small hydroelectric stations [8, 9, 10]. One of these sites for the creation of a small PSP can be the area about. Snake in the Black Sea. Currently, on this island, electricity generation for local consumers is carried out using diesel and solar power plants, and wind power is also under construction. In the future, electricity consumption will increase, and therefore the emergency and volatile situation in the supply of electricity to consumers will increase. The requirements for standby power-driven power supplies will increase, in proportion to the increase in installed power of solar and wind power plants. One of the solutions to this problem may be the construction of a small PSP, which does not require a lower and large upper reservoir. One or more pressure vessels can be used as an upper reservoir, and the sea will serve as the lower one.

From the large range of pumps, you can choose those that by type and characteristics meet their use as a hydrostatic return action.

For the choice of power equipment of small PSPs, it may be promising to use as turbines and generators of series pumps and electric motors. The selected standard size pump pump for a small HPP will equip the station with an inexpensive, reliable hydromotor, which provides the efficiency of energy conversion at the level of 70-75%.

Стаття надійшла до редакції 17.05.18

Остаточна версія 09.08.18