

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.506+620.92+620.987

О. Ободовський, д-р геогр. наук, проф.,
E-mail: obodovskiy58@gmail.com

В. Онищук, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
E-mail: willy38@ukr.net

О. Почасвець, асп., пров. інж.,
E-mail: po4aevets@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
пр. акад. Глушкова, 2, м. Київ, МСП-680, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА РІЧКАХ БАСЕЙНУ ДНІПРА (НА ПРИКЛАДІ р. РОСЬ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік)

Викладено новий науково-технологічний підхід щодо екологічного використання гідроенергетичного потенціалу річок у басейні Дніпра. Наведено конструктивні й компоновальні рішення для задекларованих високоекологічних малих гідроелектростанцій. Наведено приклади гідравлічного розрахунку напірної деривації та визначається потужність гідроелектростанції з урахуванням дії додаткового електромагнітного поля на її окремих робочих органах. Як пілотну річку використано р. Рось, для якої показані місця розташування універсальних високоекологічних малих ГЕС та визначено їх основні робочі характеристики. Крім того, надано рекомендації стосовно раціонального розміщення гідроелектростанцій з урахуванням типу русла. Науковою новизною нового технологічного підходу є використання додаткового місцевого електромагнітного поля у кінцевій частині напірного трубопроводу на ділянці завдовжки не менше 10 м, на форсунці і на турбіні. Наявність електромагнітного поля навколо турбіни і генератора дає можливість працювати станції при значних їх обертах (від 600 до 16 тисяч обертів за хвилину). Крім того, на фоні електромагнітного поля, через відсутність тертя в підшипниках, збільшується термін експлуатації турбін і генераторів. Універсальність нових конструкцій гідроелектростанцій пояснюється тим, що такі станції можна використовувати на будь-якому водному об'єкті (гірській чи річковій річці, озері, водосховищі або біля наливного басейну). Техніко-економічна ефективність високоекологічних гідроелектростанцій оцінюється високим рівнем збереження екологічної безпеки водного об'єкта, економічністю будівництва та достатньо високим рівнем безпечності роботи під час проходження паводків, що досягається мінімальним втручанням і водокористуванням на об'єкті. Крім того, робота станції є ефективною за мінімальних об'ємах заборів води на будь-якій ділянці річки, майже не порушуючи при цьому гідроекологічні параметри водного об'єкта.

Ключові слова: річка, високоекологічна мала гідроелектростанція, гідроморфологічний стан річки, технологічна парадигма використання робочих органів деривації, електромагнітне поле.

Постановка проблеми. З початку ХХ ст. в Україні були побудовані малі ГЕС (МГЕС) на багатьох малих річках. На кінець 1940-х – першу половину 50-х років чисельність малих гідроелектростанцій в Україні становила понад 950 із загальною встановленою потужністю 300 МВт (у 70-ті – понад 1500 малих ГЕС). Однак у зв'язку з розвитком централізованого електропостачання і тенденцією виробництва електроенергії на потужних ТЕС (ТЕЦ), ГЕС та АЕС, будівництво МГЕС у середині 60-х років минулого століття було майже повністю призупинено, а пізніше припинено зовсім. Більшість існуючих малих ГЕС були згодом демонтовані, сотні з них зруйновані (Ободовський та ін., 2016). Натомість мала гідроелектрогенерація набула широкого розвитку у багатьох розвинутих країнах як Європи, так і світу – у Швейцарії відсоток виробництва електроенергії на малих ГЕС становить 8,3 %, в Іспанії – 2,8 %, у Швеції – майже 3 %, а в Австрії – 10 %. Ще більш вражаючих показників вдалося досягти Китаю – близько 18–20 % всієї електроенергії тут виробляють більше 80 тисяч малих ГЕС (Ободовський та ін., 2016; Асарин та Радченко, 2005).

В Україні відновлення малої гідроелектрогенерації розпочалось лише на початку нового тисячоліття. Особливо сприяє даній тенденції впровадження в Україні "зеленого тарифу". Рентабельність генерації і досить швидко окупність проектів (близько 5–7 років) зацікавлює приватних інвесторів. Станом на сьогодні в Україні працює 70 малих гідроелектростанцій загальною потужністю 90 МВт, які виробляють від 275 до 400 млн кВт/год електроенергії на рік (Малі ГЕС України, 2016; Енергетична стратегія України..., 2013). Однак широкого розвитку малої гідроенергетики у нашій країні не відбулось у зв'язку з великим спротивом громадськості. Наприклад, так звана історія намірів будівництва малої ГЕС на Росі біля м. Біла Церква сягає більше десяти років (Екологічна проблема..., 2016).

Слід зауважити, що сучасні технології будівництва малих ГЕС є модернізованими варіантами конструктивних елементів (робочих органів), які обґрунтовані на старому традиційному технологічному підході щодо використання гідроенергетичного потенціалу річок. Експлуатація таких ГЕС не може кардинально вирішити проблему розвитку малої гідроенергетики, оскільки потужності їх є незначними, а сумарний вплив на русловий режим надзвичайно суттєвий. Відомо, що розвиток великої гідроенергетики потребує значних матеріальних і фінансових затрат, які мають окупність протягом багатьох років з урахуванням реальних незворотних змін навколишнього середовища. Крім того, для їх будівництва і безпечної експлуатації вкрай мало необхідних місць розташування на річках України.

Виходячи з основних положень міжнародних стандартів (Water Quality...EN14614:2004, 2005; Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС..., 2006) технічне використання загального (теоретичного) гідроенергетичного потенціалу не повинно виходити за межі екологічного гідроенергетичного потенціалу (допустимого за умовами збереження природного стану річок). За такого підходу річковий стік буде обґрунтовано долученим до альтернативних джерел енергетики. У цьому контексті слід зауважити, що погіршення гідробіологічних умов для традиційних ГЕС пов'язане зі значним дискретним відбором річкового стоку (Бабій та ін., 2016).

Мета дослідження. Деталізація технологічної парадигми виробництва електроенергії з використанням додаткового електромагнітного поля на окремих робочих органах деривації гідроелектростанцій і впровадження даної задекларованої розробки у практику гідроенергетичного будівництва.

Методика дослідження. Нами запропонована технологічна парадигма виробництва гідроенергії з мінімальним використанням водних ресурсів на малих за

потужністю ГЕС (*Ободовський та Онищук, 2015; Онищук та ін., 2015*). Вона полягає у використанні електромагнітного поля на робочих органах напірної деривації. Гідроелектростанція з такою деривацією буде працювати з малими витратами води, що забезпечить майже безперервну її роботу протягом року і при цьому не буде суттєво впливати на гідроекологічний стан річкової системи. ВМГЕС рекомендується будувати на звивинах гірських річок, які мають достатні перепади висот поздовжнього профілю.

Результати і обговорення. *Технологічна парадигма розвитку малої гідроенергетики.* Переваги малої гідроенергетики за новим технологічним підходом щодо високоекологічного використання водних ресурсів:

- виробництво електроенергії без використання викопного органічного та ядерного палива;
- значний термін служби та висока надійність експлуатації;
- передбачуваність та забезпеченість режимів роботи станції при зміні напруги у мережі споживачів;
- висока маневреність і коефіцієнт готовності станції для підключення до єдиної енергетичної системи;
- можливість повної автоматизації процесу експлуатації;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище при оптимальному виборі місця розташування ГЕС та дотримання екологічного законодавства;
- робота ГЕС за новою технологією гідроелектрогенерації майже протягом всього року;
- мінімальний вплив на ландшафт та незначне відчуження земельних ділянок;
- додаткові можливості для ведення рибного господарства, зрошення, водопостачання;
- експлуатація ГЕС за малих витрат води (у межах від 30 до 400 л/с) і її скид поруч із водозабором практично не змінює гідравлічний режим на водному об'єкті.

Перспективним напрямом будівництва малих та середніх за потужністю ГЕС є використання електромагнітного поля на окремих елементах деривації (при збереженні сучасних, традиційних за базовою конструкцією, об'єктів гідроенергетики). У цьому контексті пропонуються задекларовані нові конструктивні елементи деривації ГЕС та їх раціональне комплексне розміщення на гірських і рівнинних річках (*Ободовський та Онищук, 2015; Онищук та ін., 2015; Онищук та Ободовський, 2017¹; 2017²*). Гідроелектростанції з новою конструкцією деривації були науково обґрунтовані і отримали назву – високоекологічні (*Асарин та Радченко, 2005; Ободовський та ін., 2016*).

Робота високоекологічної малої гідроелектростанції (ВЕМГЕС). Робота ВЕМГЕС характеризується дією додаткового електромагнітного поля на водний потік деривації (підвідний напірний трубопровід і конусна насадка або форсунка з подвійними обкладками). При циркуляції гелію або аргону між стінками обкладок формується навколо і всередині трубопроводу додаткове місцеве електромагнітне поле, яке обумовлює у кінцевій частині трубопроводу дію ефекту ежекції, що призводить до прискорення руху водних мас (*Ободовський та Онищук, 2015; Онищук та ін., 2015; Онищук та Ободовський, 2017²*). Циркуляція гелію або аргону у просторі обкладок відбувається під впливом перепаду температур між водою у трубопроводі і атмосферним повітрям навколо нього. У результаті тертя молекул газу об стінки обкладки на їх поверхні індукуються статичні заряди. Електромагнітне поле на указаній ділянці деривації заміщує поле гравітації, що призводить до формування компактного центрального струменя, в якому має

спостерігатись ламінарний режим течії. Таким чином, навколо струменя буде мати місце вакуумний простір. У цей простір має надходити повітря з води і за допомогою зворотного клапану виходити назовні, що забезпечить турбіну від вібрації при значних допустимих швидкостях її обертання. У цьому контексті слід зауважити, що турбіна також має бути занурена в електромагнітне поле, що дасть можливість звести майже до нуля опір води і повітря навколо турбіни і генератора.

Основні конструктивні і компоувальні рішення напірної деривації високоекологічних малих гідроелектростанцій. Ефективність роботи напірної деривації ВМГЕС перш за все залежить від наявності додаткового місцевого електромагнітного поля навколо кінцевої частини завдовжки не менше 10 м напірного трубопроводу. Для цього рекомендується конусну насадку або форсунку і ківшеву турбіну також виконати з подвійними обкладками (*Онищук та Ободовський, 2017¹; 2017²; 2017³*). Наявність електромагнітного поля навколо турбіни і генератора дає можливість працювати станції при значних їх оборотах (від 600 до 16 тисяч обертів за хвилину). Крім того, на фоні електромагнітного поля, через відсутність тертя у підшипниках, збільшується термін експлуатації турбін і генераторів (орієнтовно у три рази). ВЕМГЕС рекомендується розміщувати на будь-якій ділянці річки, зокрема на заплаві з боку опуклого берега звивини з показником її розвитку S/L у межах від 1,4 до 1,8 (де S – довжина звивини по тальвегу, L – крок звивини, який визначається між двома перекатами) (*Чалов, 2008*), що відповідає її відносній динамічній рівновазі і найбільшій гідравлічній вигідності. Під час проходження катастрофічних паводків як на гірських, так і на рівнинних річках (при значному виході води на заплаву) підвідний (напірний) трубопровід та трубчатий водовідвід мають бути перекриті гідравлічними затворами. Будівлю ГЕС бажано розміщувати у заплаві улоговині при положенні ківшевої турбіни на 0,5–1 м вище від поверхні заплави.

При компоуванні ГЕС рекомендується враховувати наявність необхідних об'єктів інфраструктурної забудови території. Важливим аспектом при будівництві ВЕМГЕС є наявність майже незмінної гідроморфологічної стійкості окремих ділянок і самої річки у цілому. Це свідчить про те, що ВМГЕС не будуть порушувати перебіг руслових процесів, а також збережуть природний гідробіологічний стан водного об'єкта. Порівняно з традиційними схемами розміщення малих ГЕС, для нині задекларованих не треба влаштувати греблі та прокласти довгі і великого діаметру напірні трубопроводи. На сьогодні існуючі і запроектовані до будівництва ГЕС суттєво порушують гідроекологічний режим на відповідній ділянці річки і прилеглої до неї території, оскільки вони працюють на відборі великих об'ємів (витрат) води. Крім того, будівництво таких ГЕС потребує значних матеріальних і фінансових витрат. Слід також зауважити, що темпи будівництва традиційних ГЕС пов'язані зі значним громадським спротивом стосовно відведення великих площ землі та корінної перебудови річки.

У подальшому були розроблені покращені конструкції деривації гідроелектростанцій (УВМГЕС) (*Онищук та Ободовський, 2017¹; 2017²; 2017³*), тобто їх універсалізація. В основу цих розробок була поставлена задача покращення конструктивних елементів деривації, задекларованих УВМГЕС, які змогли б успішно конкурувати з існуючими малими та середніми за потужністю ГЕС з безпечному екологічному режимі їх експлуатації як на гірських, так і на рівнинних річках. Одним із важелів досягнення такої мети є те, що станція (УВМГЕС) містить у собі турбіну на одному валу з генератором електричного

струму. Сама турбіна знаходиться на опорі і має зверху подвійну обкладку. При цьому УВМГЕС має форсунку з подвійною обкладкою, яка розміщена між турбіною та підвідним напірним трубопроводом.

Будівля станції розташована на заплаві біля самого русла або біля схилу долини, чи за дамбою обвалування. Поруч розміщений акумулювативний басейн, в який надходить річкова вода через перепускну трубу. За допомогою гідравлічного сифона вона подається в урівноважувальну ємність, розміщену на опорах, з якої відбувається заповнення деривації. Рекомендується використати гідравлічний сифон з конструкцією, викладеною в патенті України (*Онищук та Ободовський, 2017³*). Відвід води із кільцевого басейну здійснюється за допомогою скидного трубопроводу в буферну ємність. З цього басейну вода перекачується гідравлічним сифоном у достатньо високу ємність, що дає змогу скидною трубою спрямовуватись у річку.

Універсальність даної корисної моделі пояснюється тим, що таку конструкцію деривації можна використати для нових ГЕС на будь-якому водному об'єкті (гірській чи рівнинній річці, озері, водосховищі або біля наливного басейну).

Техніко-економічна ефективність УВМГЕС оцінюється високим рівнем збереження екологічної безпеки водного об'єкта, економічністю будівництва та достатнім рівнем безпечності роботи під час проходження паводків, що досягається мінімальним втручанням і водокористуванням водним об'єктом. Крім того, робота ГЕС є ефективною при мінімальних об'ємах заборів води на будь-якій ділянці річки і майже не порушує при цьому гідроекологічні параметри водного об'єкта. Порівняльний аналіз кошторисної вартості малої ГЕС біля с. Тур'я Поляна (Закарпатська область) і УВМГЕС на основі даної конструкції показав, що можна отримати економію матеріальних і фінансових затрат за строком їх окупності орієнтовно на 40%. Це досягається за рахунок здешевлення деривації та суттєвим підвищенням виробництва електричного струму (за наявності від 2 до 4 блоків на одній ГЕС) з можливістю його отримання протягом усього року.

Приклади розрахунків основних характеристик напірного трубопроводу за існуючими методами. Вихідними даними для розрахунків є: діаметр напірного трубопроводу $d = 200$ мм; довжина трубопроводу від урівноважувальної ємності до конусної насадки $l = 20$ м (*Онищук та Ободовський, 2017³*); перепад висот залягання трубопроводу $H = 3,5$ м; напір води на вході трубопроводу $H_1 = 0,35$ м; загальний гідравлічний напір води $H_2 = 3,85$ м.

1. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу за рівнянням Бернуллі (*Большаков, 1977*):

$$H_1 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_1^4} = H_2 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_2^4} + \sum S_0 Q^2 \ell + \sum \zeta \frac{Q^3}{d^4}, \quad (1)$$

де $H_i = z + p/\rho g$ – п'езометричний напір у розрахунковому створі; $S_0 = 8\lambda/g\pi^2 d^5$ – питомий опір трубопроводу; ζ – коефіцієнт місцевого опору (на вході води у трубу обладнану сіткою).

Хід розрахунку: $H_1 = 0,35$ м, $H_2 = 3,85$ м, $S_0 = 8$ і $\zeta_{ex} = 1,5$, витрата води становить $Q = 0,170$ м³/с, $V = 0,170/0,0295 = 5,78$ м/с.

2. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу за формулою Ф.А. Шевелева (*Богомолов і Михайлов, 1972*):

$$H = A \ell Q^2 k_0, \quad (2)$$

де A – питомий опір трубопроводу (за даними (*Богомолов і Михайлов, 1972*)); k_0 – перехідний коефіцієнт, який для квадратичної області опору дорівнює 1.

Згідно з формулою (2) витрата води у напірному трубопроводі дорівнює $Q = [3,85/(6,96 \cdot 20)]^{0,5} = 0,166$ м³/с, $V = 0,166/0,0295 = 5,63$ м/с.

За наявності електромагнітного поля в кінці трубопроводу, яке за своїм потенціалом вище потенціалу сили гравітації, відбувається заміщення останнього. На фоні відсутності сили гравітації створюються умови для прискорення потоку води у напірному трубопроводі на величину прискорення сили земного тяжіння (при циркуляції газу гелію в обкладках) $V_{н.м} = 5,70 \times 9,81 = 56$ м/с. У даному випадку швидкість потоку води в соплі форсунки буде домірною подвоєній величині $V_c = 112$ м/с. При зазначеній швидкості потоку води обертання має становити не менше $V_m = 112/2 \times 3,14 \times 0,3 = 59,45$ об/с (або 3567 об/хв). Отже потужність ГЕС за наявності одного блоку буде домірною $N = V_m t_{e.n} k_m = 59,45 \times 3 \times 1 = 178$ кВт або 356 кВт за наявності двох генераторів на одному валу з турбіною (де $t_{e.n} = 3$ – показник трансформації роботи електромагнітного поля в генерацію струму, k_m – коефіцієнт корисної дії турбіни на фоні прояву електромагнітного поля, який наближений до 1). При початковому напорі води у трубопроводі 10 м, який можна досягти на урівноважувальній ємності при використанні гідравлічного сифона з електромагнітним полем, будемо мати такі величини характеристик: $Q = 0,268$ м³/с, $V_{сеп} = 9$ м/с, $V_{н.м} = 88$ м/с, $V_c = 176$ м/с, $V_m = 93$ об/с або 5580 об/хв, $N = 93 \times 3 \times 1 = 279$ кВт або 558 кВт при двох генераторах на одному валу з турбіною. Мінімальна витрата води у напірному трубопроводі при цьому має дорівнювати 0,03 м³/с, що відповідає за розрахунками кількості обертів турбіни рівним $V_m = 635$ об/хв ($N = 30$ кВт або 60 кВт при двох генераторах на одному валу з турбіною). За наявності газу аргону у просторах між стінками обкладок (*Онищук та Ободовський, 2017³*) потужність ГЕС одного блоку буде домірною $N = V_m t_{e.n} k_m = 59,45 \times 6 \times 1 = 356$ кВт або 713 кВт за наявності двох генераторів на одному валу з турбіною (де $t_{e.n} = 6$ – показник трансформації роботи електромагнітного поля в генерацію струму, що пов'язаний з подвоєнням енергетичного рівня газу аргону порівняно з гелієм; k_m – коефіцієнт корисної дії турбіни на фоні прояву електромагнітного поля, який наближений до 1). При початковому напорі води у трубопроводі 20 м, який можна досягти на урівноважувальній ємності при використанні гідравлічного сифона з електромагнітним полем, будемо мати такі величини характеристик: $Q = 0,379$ м³/с, $V = 12,85$ м/с, $V_{н.м} = 126$ м/с, $V_c = 252$ м/с, $V_m = 133$ об/с або 8000 об/хв, $N = 133 \times 6 \times 1 = 798$ кВт або 1596 кВт при двох генераторах на одному валу з турбіною. Мінімальна витрата води у напірному трубопроводі при цьому має дорівнювати 0,03 м³/с, що відповідає за розрахунками кількості обертів турбіни рівним $V_m = 635$ об/хв ($N = 60$ кВт або 120 кВт при двох генераторах на одному валу з турбіною).

Принципові особливості заміни поля гравітації електромагнітним полем. Заміна сили гравітації відбувається за умови перевищення потенціалу електромагнітного поля над природним силовим потенціалом у конкретному місці. Силу гравітації водного середовища F на ділянці трубопроводу завдовжки можливої її заміни електромагнітним полем можна визначити за формулою

$$F = \rho g W_6, \quad (3)$$

де ρ – густина води, яка дорівнює 1000 кг/м³; g – прискорення сили земного тяжіння, яке домірне 9,81 м/с² або дещо більше над водною поверхнею – 9,84 м/с²; W_6 – об'єм води у трубопроводі (у зоні впливу електромагнітного поля на поле гравітації), м³. Силу електромагнітного

поля нами пропонується визначати за емпіричною формулою, яка отримана на основі теореми π , а тому вона потребує, можливо, подальшого уточнення (*Water Quality...EN14614: 2004, 2005*):

$$E = pW_n \frac{V^2}{4\pi r I_3}, \quad (4)$$

де p – тиск газу гелію у подвійній обкладинці конусної насадки або форсунки, який дорівнює 0,18 Па (0,02 ат) або 200 кг/м²; W_n – об'єм простору у подвійній обкладинці елементів деривації, м³; r – віртуально-реальний радіус простору від центру труби до її зовнішньої поверхні; I_3 – загальна довжина елементів деривації з електромагнітним полем, м.

Сила поля гравітації у трубопроводі за довжиною дорівнює 10 м дії електромагнітного поля від конусної насадки або форсунки дорівнює $F = 310 \text{ кгм/с}^2$ (при $\omega = 0,03 \text{ м}^2$; $W_e = 0,03 \times 10 = 0,3 \text{ м}^3$).

Сила електромагнітного поля навколо конусної насадки або форсунки і кінцевої частини напірного трубопроводу орієнтовно становить $E = 200(2 \cdot 3,14 \cdot 0,065 \cdot 0,006 \cdot 2,4) \cdot (112^2/4 \cdot 3,14 \cdot 0,096 \cdot 10) = 1228,52 \text{ кгм/с}^2$. Отже сила електромагнітного поля значно перевищує силу гравітації у кінцевій частині деривації.

Рекомендації щодо розміщення високоекологічних малих гідроелектростанцій. Комплексне використання водних ресурсів необхідно проводити з дотриманням умов збереження водних об'єктів на високому екологічному рівні (*Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС... 2006*).

1. Для впровадження в галузь енергетики нами пропонуються нові конструкції деривації ГЕС. Такі конструкції ГЕС будуть працювати з малими витратами води, що забезпечить безперервну їх роботу протягом року. Технологія використання водного ресурсу такими ГЕС основана на створенні додаткового місцевого потенціалу електромагнітного поля на елементах деривації (*Ободовський та Онищук, 2015; Онищук та ін., 2015; Онищук та Ободовський, 2017¹; 2017²; 2017³*).

2. Високоекологічні малі ГЕС рекомендується будувати на звивинах гірських річок, які мають достатні перепади висот позовдовжнього профілю. На високогір'ї такі ГЕС можна розміщувати також на відносно прямих ділянках річки.

3. На ділянках річок, які мають мінімальну витрату з 90%-вою забезпеченістю не менше 0,60 м³/с, влаштування таких ГЕС можливе при заборах води у межах від 0,03 до 0,2 м³/с.

4. На ділянках річок з обвалуванням русло-заплавного комплексу влаштування високоекологічних ГЕС пропонується здійснювати за межами дамб обвалування. Відбір води з русла річки відбувається перепускною трубою у буферний басейн, а далі напірною

деривацією до будівлі ГЕС. Басейн можна використати для вирощування річкових і промислових риб.

5. На ділянках річок з осередковим типом русла (руслова багаторукавність) будівництво нових за конструкцією деривації ГЕС рекомендується провадити за схемою відбору фільтраційної води у заплавах буферних басейнах.

6. При типі русла – заплава багаторукавність бажано для відбору води використовувати найбільший рукав. При цьому також необхідно мати буферний басейн.

7. На рівнинних ділянках річок, які мають високий рівень зарегульованості стоку, будівництво УВМГЕС рекомендується провадити біля водосховища (у верхньому б'єфі гідровузла) та біля ставків. Ця можливість пояснюється тим, що, як правило, використовується мала витрата води, яка може подаватись на велику висоту гідравлічним сифоном і відповідно напірним трубопроводом при великій середній швидкості потоку на турбіну.

Попередні рекомендації стосовно правил експлуатації високоекологічних малих гідроелектростанцій. Станція має бути повністю автоматизованою і підлягати статусу режимного об'єкта. Центр управління станцією повинен перебувати за межами впливу електромагнітного поля. Радіус зони залежить лінійно від загальної максимальної потужності ГЕС. При потужності станції у 3 МВт радіус зони має бути не менше 10 м і, відповідно, при 9 МВт – 30 м. Межі можливих при експлуатації станції обертів турбіни: оптимальний режим роботи високоекологічної малої ГЕС є $V_m = 8000 \text{ об/хв.}$; максимальна (допустима) – 16000 об/хв; мінімальна – 600 об/хв.

Сучасний стан та перспективи використання водного ресурсу для гідроенергетики на річці Рось. Річка Рось – це правобережна притока Дніпра, яка впадає в нього біля села Хрещатик на висоті 70 м над рівнем моря. Вона належить до 20 найбільших річок України. Річкова мережа басейну р. Рось розвинена добре. Коефіцієнт її густоти з урахуванням річок завдовжки менше 10 км становить 0,38 км/км², без урахування – 0,31 км/км². Басейн р. Рось належить до зони достатньої зволоженості (*Бабій та ін., 2016*). Всього у річку Рось впадає 1136 малих річок, з них завдовжки менше 10 км – 1034.

Нині на Росі працює п'ять ГЕС (табл. 1). Періодичність роботи ГЕС відчутно позначається на екологічному стані Росі (*Бабій та ін., 2016*). Досить потужними малими ГЕС є лише дві: Стеблівська і Корсунь-Шевченківська. Будівництво більшої кількості ГЕС за традиційною технологією є проблематичним, оскільки водність річки не забезпечить необхідного високого екологічного ресурсу для гідроелектрогенерації, а також це може призвести до значного погіршення екологічного стану Росі та річок її басейну.

Таблиця 1

Основні характеристики гідровузлів, розміщених на річці Рось (*Бабій та ін., 2016*)

| Назва водосховища (МГЕС) | НПР, м БС | РМО, м БС | Напір, м | Потужність МГЕС, МВт (ГА)* | Призначення |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|----------------------------|--------------------------------|
| Щербаківське | 164,0 | 162,10 | 2,50 | 0,14 (2 по 0,5 і 0,9) | енергетика |
| Дубинецьке | 131,60 | 131,0 | 6,80 | 0,6 (3 по 0,2) | енергетика |
| Богуславське | 127,40 | 126,60 | 2,70 | 1,3 (2 по 0,65) | енергетика, рибне господарство |
| Стеблівське | 113,90 | 112,75 | 21,50 | 2,7 (1,3 і 1,4) | енергетика, водозабезпечення |
| Корсунь-Шевченківське | 99,81 | 98,80 | 16,20 | 1,8 (2 по 0,9) | енергетика |
| | | | | $\Sigma = 6,54$ | |

*Кількість гідроагрегатів.

Оцінка використаного гідроенергетичного потенціалу малими УВМГЕС для пілотної річки Рось. На базі запропонованих методичних та технологічних підходів розміщення та конструювання УВМГЕС були запропоновані місця розміщення та визначені потужності цих ГЕС для

р. Рось (рис. 1). Враховуючи також сучасну стратегію розвитку енергетики (*Енергетична стратегія України..., 2013*) запропоновано будівництво нових гідроелектростанцій як на базі існуючих будівель ГЕС (табл. 2), так і у межах прибережної зони водосховищ (табл. 3).

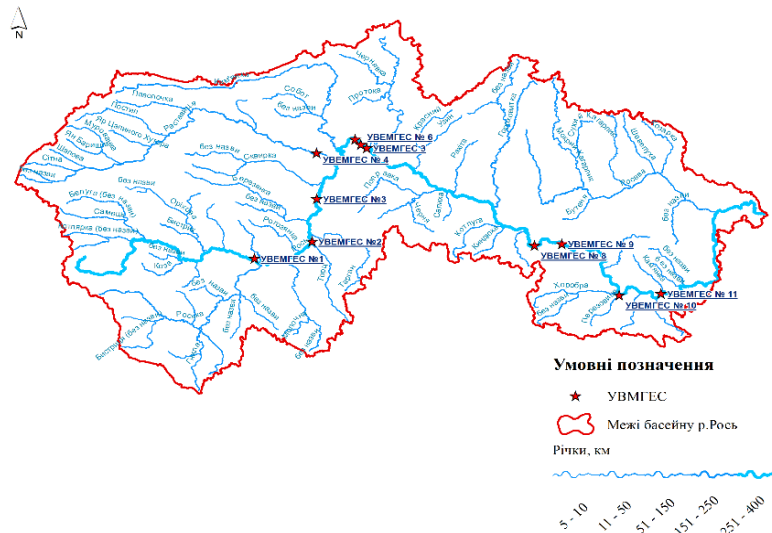


Рис. 1. Карта розміщення нових за технологією використання водних ресурсів високоекологічних малих гідроелектростанцій (УВМГЕС)

Таблиця 2

Основні характеристики високоекологічних малих ГЕС, які рекомендуються для будівництва на базі існуючих гідровузлів, розміщених на річці Рось

| Назва гідровузла | Координати існуючої будівлі ГЕС і УВМГЕС | Напір, м | Витрата води при $d_{н.т} = 200 \text{ мм}$ і $l = 20 \text{ м}$, $\text{м}^3/\text{с}$ | $V_{\text{сер}}$ ($V_{\text{сop}} = 2 \times 9,81 V_{\text{сер}}$), $\text{м}/\text{с}$ | Потужність одного блока при двох генераторах, МВт | Загальна потужність УВМГЕС, МВт (ГАБ)* |
|------------------------|---|----------|--|---|---|--|
| Щербаківський | П.ш. 49°38' 28,23" С.д. 29°56' 41,04" | 2,50 | 0,134 | 3,73 (73) | 0,148 | 0,30(2*) |
| Дубинецький | П.ш. 49° 32' 04,05" С.д. 30°46' 30,83" | 6,80 | 0,216 | 6,10(120) | 0,245 | 0,48(2) |
| Богуславський | П.ш. 49°32'24,76" С.д. 30°52' 37,63" | 2,70 | 0,139 | 3,86 (75) | 0,15 | 0,30(2) |
| Стеблівський | П.ш. 49°24'26,84" С.д. 31°06' 30,16" | 21,50 | 0,393 | 10,85(213) | 0,43 | 0,86(2) |
| Корсунь-Шевченківський | П.ш. 49°24'44,34" С.д. 31°15' 59,22" | 16,20 | 0,341 | 9,42 (185) | 0,38 | 0,76(2) |
| | | | | | | $\Sigma = 2,7 \text{ МВт}$ |

*/ Кількість гідроагрегатних блоків.

Таблиця 3

Основні характеристики універсальних високоекологічних малих ГЕС, які рекомендуються для будівництва у прибережній зоні існуючих водосховищ на річці Рось

| Назва водосховища і УВМГЕС | Координати будівлі (ГЕС) | Напір, м | Витрата води при $d_{н.т} = 200 \text{ мм}$ і $l = 20 \text{ м}$, $\text{м}^3/\text{с}$ | $V_{\text{сер}}$ ($V_{\text{сop}} = 2 \times 9,81 V_{\text{сер}}$), $\text{м}/\text{с}$ | Потужність одного блока при двох генераторах, МВт | Загальна потужність УВМГЕС, МВт, (ГАБ)* |
|----------------------------|--|----------|--|---|---|---|
| Косівське № 1 | П.ш. 49°28' 26,62" С.д. 29°43' 23,04" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (*1) |
| Володарське №2 | П.ш. 49°31' 32,13" С.д. 29°56' 13,34" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Щербаківське №3 | П.ш. 49°38' 28,87" С.д. 29°56' 46,57" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Трушське №4 | П.ш. 49°45' 52,35" С.д. 29°56' 18,84" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Білоцерківське верхнє № 5 | П.ш. 49°45' 18,18" С.д. 30°04' 56,03" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Білоцерківське середнє № 6 | П.ш. 49°47' 19,95" С.д. 30°06' 34,45" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Білоцерківське нижнє № 7 | П.ш. 49°46' 58,64" С.д. 30°07' 38,59" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Дубинецьке № 8 | П.ш. 49°32' 02,92" С.д. 30°46' 28,61" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Богуславське № 9 | П.ш. 49°32' 23,55" С.д. 30°52' 36,48" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Стеблівське № 10 | П.ш. 49°24' 20,52" С.д. 31°05' 54,96" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| Корсунь-Шевченківське №11 | П.ш. 49°24' 44,69" С.д. 31°15' 19,68" | 10 | 0,268 | 9(176) | 0,7 | 1,4 (2) |
| | | | | | | $\Sigma = 15,4 \text{ МВт}$ |

*/ Кількість гідроагрегатних блоків.

З даних табл. 3 видно, що найбільш доцільним є будівництво нових за технологією ГЕС на базі будівель Стеблівської і Корсунь-Шевченківської ГЕС, які працюють під великим напором води. Що стосується будівництва

УВМГЕС у прибережній зоні водосховищ (табл. 4), то тут може бути їх значно ширше впровадження залежно від потреби постачання електроенергії.

Таблиця 4

Зіставлення можливого використання енергетичного потенціалу для пілотної річки Рось

| Річка | Загальний енергетич. потенціал, кВт | Екологічно обґрунтований енергетичний потенціал, кВт | ТМГП*, кВт | Загальна потужність ГЕС, кВт | Використ. загального енергетичного потенціалу, % | Використ. екологічно обґрунтов. енергопот., % | ТМП, % |
|-------|-------------------------------------|--|------------|------------------------------|--|---|--------|
| Рось | 27048 | 4100 | 1800 | 24650 | 91 | 600 | 1369 |

*ТМГП – технічно можливий гідроенергетичний потенціал.

Отримані дані по потужностях УВМГЕС на річці Рось доцільно порівняти з їхніми екологічними енергетичними потенціалами. З наведеної табл. 4 видно, що використаний енергетичний потенціал є досить вагомим. Для вказаних річок обрана мінімальна кількість місць розташування УВМГЕС. За результатами екологічного моніторингу їх кількість можна значно збільшити.

Висновки. У завершення викладеного вище матеріалу можна сформулювати такі науково-технічні узагальнення. Будівництво УВМГЕС є перспективним напрямом вирішення проблеми гідроенергетики країни. Експлуатація високоекологічних малих ГЕС дозволить вирішити цілий ряд додаткових проблем, а саме: підвищити гідробіологічну якість річкової води (завдяки мінімальному за об'ємом відбору води на роботу ГЕС); отримати дешево за собівартістю електроенергію та відкрити нові робочі місця. Басейнова гідроенергетика за новою технологією дозволить уникати аварійних відключень споживачів та більш ефективно управляти єдиною електроенергетичною системою України.

Список використаних джерел

- Асарин, А.Е., Радченко, В.Г. (2005). Строительство малых ГЭС в КНР. *Гидротехническое строительство*, 4, 44–45.
- Бабій, П.О., Вишевський, В.І., Шевчук, С.А. (2016). Річка Рось та її використання. Київ: Інтерпрес ЛТД.
- Богомолов, А.И., Михайлов, К.А. (1972). Гидравлика. Учебник для вузов. Москва: Стройиздат.
- Большаков, В.А. (Ред.). (1977). Справочник по гидравлике. Киев: Вища школа.
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС: основні терміни та їх визначення. (2006). Консорціум компаній RODECOVERSeau–WRc, Київ.
- Екологічна проблема № 1: масове будівництво ГЕС на річках України. (2016). Отримано із <http://pryroda.in.ua/miniges/mala-hes-na-richtsi-ros>.
- Енергетична стратегія України на період до 2030 року. (2013). Отримано із <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog>.
- Малі ГЕС України. (2016). Отримано із <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
- Ободовський, О.Г., Ободовський, Ю.О., Онишук, В.В. (2016). Технологічна парадигма розвитку малої гідроенергетики на річках Карпатського регіону. *Науковий вісник Чернівецького нац. ун-ту*, 775, 51–60.
- Ободовський, О.Г., Онишук, В.В. (2015). Спосіб розміщення високоекологічної малої ГЕС. *Патент України на корисну модель № 100050 від 10.07.2015*.
- Онишук, В.В., Ободовський, О.Г. (2017¹). Високоекологічна гідроелектростанція. *Патент України на корисну модель № 121730 від 11.12.2017*.
- Онишук, В.В., Ободовський, О.Г. (2017²). Універсальна високоекологічна мала гідроелектростанція (УВМГЕС). *Патент України на корисну модель № 113587 від 10.02.2017*.
- Онишук, В.В., Ободовський, О.Г. (2017³). Універсальний гідравлічний сифон. *Патент України на корисну модель № 115332 від 10.04.2017*.

O. Obodovskiy, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.,
E-mail: obodovskiy58@gmail.com
V. Onischuk, Cand. Sci. (Techn.), Senior Researcher,
E-mail: willy38@ukr.net
O. Pochaievets, PhD Student, Leading Engineer,
E-mail: po4aevets@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
2 Glushkova Ave., Kiev, MSP-680, Ukraine

- Онишук, В.В., Ободовський, О.Г., Нікулін, Д.О., Ободовський Ю.О. (2015). Модернізована високоекологічна мала гідроелектростанція (ГЕС). *Патент України на корисну модель № 103796 від 25.12.2015*.
- Чалов, Р.С. (2008). Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. Москва: Изд-во ЛКИ.
- Water Quality - Guidance Standard for assessing the hydromorphological features of rivers. (2005). EN14614:2004.CEN, European Committee for Standardization, Brussels.

Reference

- Asaryn, A.E., Radchenko, V.H. (2005). Stroytelstvo malых GES v KNR. *Hydrotekhnicheskoe stroytelstvo*, 4, 44–45. [in Russian]
- Babii, P.O., Vyshevskiy, V.I., Shevchuk, S.A. (2016). Rіchka Ros ta yіi vykorystannia. Kyiv: "Interpres LTD". [in Ukrainian]
- Bohomolov, A.Y., Mykhailov, K.A. (1972). *Hydravlika. Uchebnyk dlia vuzov*. Moskva: Stroyizdat. [in Russian]
- Bolshakov, V.A. (Edc.) (1977). *Spravochnyk po hydravlyke*. Kyev: Vyshcha shkola. [in Russian]
- Chalov, R.S. (2008). *Ruslovedenye: teoriya, heohrafiya, praktyka*. T. 1. *Ruslovyie protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proiavlennia y usloviya formirovaniya rechnykh rusel*. Moskva: Yzd-vo LKY. [in Russian]
- Ekolohichna problema № 1: masove budivnytstvo HES na richkakh Ukrainy. (2016). Retrieved from <http://pryroda.in.ua/miniges/mala-hes-na-richtsi-ros>. [in Ukrainian]
- Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku. (2013). Retrieved from <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog>. [in Ukrainian]
- Mali HES Ukrainy. (2016). Retrieved from <https://uk.wikipedia.org/wiki/>. [in Ukrainian]
- Obodovskiy, O.H., Obodovskiy, Yu.O., Onyshchuk, V.V. (2016). Tekhnolohichna paradyhma rozvytku maloi hidroenerhetyky na richkakh Karpat'skoho rehionu. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho nats. un-tu*, 775, 51–60. [in Ukrainian]
- Obodovskiy, O.H., Onyshchuk, V.V. (2015). Sposib rozmishchennia vysokoekolohichnoi maloi HES. *Patent Ukrainy na korysnu model № 100050 vid 10.07.2015*. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.H. (2017¹). Vysokoekolohichna hidroelektrostantsiia. *Patent Ukrainy na korysnu model № 121730 vid 11.12.2017*. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.H. (2017²). Universalna vysokoekolohichna mala hidroelektrostantsiia (UVMHES). *Patent Ukrainy na korysnu model № 113587 vid 10.02.2017*. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.H. (2017³). Universalni hidravlichnyi syfon. *Patent Ukrainy na korysnu model № 115332 vid 10.04.2017*. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, V.V., Obodovskiy, O.H., Nikulin, D.O., Obodovskiy Yu.O. (2015). Modernizovana vysokoekolohichna mala hidroelektrostantsiia (HES). *Patent Ukrainy na korysnu model № 103796 vid 25.12.2015*. [in Ukrainian]
- Vodna Rammkova Dyrektyva YeS 2000/60/leS : osnovni termyny ta yikh vyznachennia (2006). Konsortium kompanii RODECOVERSeau–WRc, Kyiv. [in Ukrainian]
- Water Quality - Guidance Standard for assessing the hydromorphological features of rivers. (2005). EN14614:2004.CEN, European Committee for Standardization, Brussels.

Надійшла до редколегії 17.10.18

PERSPECTIVES OF THE USAGE OF HYDROPOWER POTENTIAL OF THE RIVERS OF THE DNIPRO RIVER BASIN (ON THE EXAMPLE OF THE ROS RIVER)

A new scientific and technological approach concerning the high level of ecological usage of hydropower potential of rivers in the Dnipro river basin is presented. The constructive and layout solutions for the declared small high-ecological hydroelectric power plants are presented. Examples of hydraulic calculation of pressure derivation are given and the power of a hydroelectric power plant is determined taking into account the effect of

an additional electromagnetic field on its individual working bodies. The Ros is taken as the pilot river, which shows the locations of universal small high-ecological hydroelectric power stations and their main operating characteristics. In addition, recommendations are made regarding the rational allocation of hydroelectric power plants, taking into account the type of channel. The scientific novelty of the new technological approach is the use of an additional local electromagnetic field at the end of the pressure pipeline at a section length of at least 10 m, on the nozzle and on the turbine. The presence of an electromagnetic field around the turbine and generator enables the stations to operate at significant speeds (from 600 to 16 thousand revolutions per minute). In addition, in the background of the electromagnetic field, due to the absence of friction in the bearings, the life of turbines and generators increases. The universality of new hydroelectric power plants is explained by the fact that such stations can be used on any water facility (mountain or plain river, lake, reservoir or near the reservoir). The technical and economic efficiency of high-ecological hydroelectric power plants is assessed by the high level of environmental safety of the water object, the cost-effectiveness of construction and the achieved level of safety during flood passage, which is achieved by minimal interference and water use of the water object. In addition, the work of the station is effective at the minimum volume of water drain on any part of the river, almost without violating the hydroecological parameters of the water object. Comparative analysis of the estimated cost of a small hydroelectric power station near the village is presented.

Keywords: river, high-ecological small hydroelectric power station, hydromorphological state of the river, technological paradigm of the use of working parts of derivation, electromagnetic field.

А. Ободовский, д-р геогр. наук, проф.,

E-mail: obodovskiy58@gmail.com

В. Онищук, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: willy38@ukr.net

Е. Почаевец, асп., вед. инж.,

E-mail: po4aevets@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Пр. акад. Глушкова, 2, г. Київ, МСП-680, Україна

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА РЕКАХ БАСЕЙНА ДНЕПРА (НА ПРИМЕРЕ р. РОСЬ)

Изложен новый научно-технологический подход относительно экологического использования гидроэнергетического потенциала рек в бассейне р. Днепр. Приведены конструктивные и компоновочные решения для задекларированных высокоэкологических малых гидроэлектростанций. Приведены примеры гидравлического расчета напорной деривации, определяется мощность гидроэлектростанции с учетом действия дополнительного электромагнитного поля на ее отдельных рабочих органах. В качестве пилотной реки использована р. Рось, для которой показаны места расположения универсальных высокоэкологических малых ГЭС и определены их основные характеристики. Кроме того, даны рекомендации по рациональному размещению гидроэлектростанций с учетом типа русла. Научной новизной нового технологического подхода является использование дополнительного местного электромагнитного поля в конечной части напорного трубопровода на участке длиной не менее 10 м, на форсунке и на турбине. Наличие электромагнитного поля вокруг турбины и генератора дает возможность работать станции при значительных их оборотах (от 600 до 16000 оборотов в минуту). Кроме того, на фоне электромагнитного поля, из-за отсутствия трения в подшипниках, увеличивается срок эксплуатации турбин и генераторов. Универсальность новых конструкций гидроэлектростанций объясняется тем, что такие станции можно использовать на любом водном объекте (горной или равнинной реке, озере, водохранилище или у наливного бассейна). Техно-экономическая эффективность высокоэкологических гидроэлектростанций оценивается высоким уровнем экологической безопасности водного объекта, экономичностью строительства и достаточным уровнем безопасности работы во время прохождения паводков, что достигается минимальным вмешательством и водопользованием объекта. Кроме того, работа станции является эффективной при минимальных объемах заборов воды на любом участке реки, почти не нарушая при этом гидроэкологические параметры водного объекта.

Ключевые слова: река, высокоэкологическая малая гидроэлектростанция, гидроморфологическое состояние реки, технологическая парадигма использования рабочих органов деривации, электромагнитное поле.