

УДК 697.133

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260319.58.406

ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ГАЕС

ТИМОШЕНКО О. А.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ В. В.², канд. техн. наук, доц.,

ТИМОШЕНКО Л. О.³, м. н. с.,

КОЛОХОВ О. В.⁴, студ.

^{1*} Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел.+38 (050) 452-43-63, e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

² Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(050) 362-26-94, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

³ Кафедра архітектури, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(095) 329-14-54, e-mail: lvtimoshenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0928-0945

⁴ Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(050) 206-90-48, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

Анотація. Постановка проблеми. Енергію в Україні виробляє велика кількість генерувальних електростанцій різних типів. Але, незважаючи на значні екологічні переваги, використання нетрадиційних джерел енергії саме по собі не вирішує головної проблеми – забезпечення електрикою користувачів у необхідному обсязі та в необхідний час. Нерівномірність споживання електроенергії в межах доби потребує наявності резервних та регульовальних потужностей, які б давали змогу задовольняти пікові потреби промисловості та суспільства. Генерацію енергії в режимі «на запит» можуть здійснювати лише гідро-(ГЕС), гідроаккумуляційні (ГАЕС), які в той же час мають значний вплив на навколишнє середовище. **Мета статті** полягає у визначенні можливості проектування та будівництва ГАЕС зі зниженням навантаження на навколишнє середовище. **Виклад матеріалу.** Вирішення проблеми нерівномірності споживання електричної енергії потребує застосування регульовальних потужностей ГАЕС, як найбільш мобільних. Вартість будівництва ГАЕС великою мірою визначається їх місцем розташування, наближенням до споживачів електроенергії та необхідністю компенсації екологічних ризиків. Зниження навантаження на навколишнє середовище може бути досягнуте разі комплексного врахування екологічних потреб різних галузей економіки. На прикладі Рибальського кар'єру, розташованого у м. Дніпро, доведено доцільність розміщення на його території басейну ГАЕС. Розрахунок можливої потужності ГАЕС буде виконано під час оптимізаційних розрахунків, для яких сформульовано граничні умови. **Висновки.** Аналіз можливостей зниження впливу ГАЕС на навколишнє середовище показав, що існує можливість будівництва ГАЕС, які б не додавали екологічних ризиків. Визначено місце для можливого будівництва такої станції та сформульовано задачу оптимізації для визначення її потужності. Орієнтовна окупність проекту складає п'ять років.

Ключові слова: гідроаккумуляційна електростанція; Рибальський кар'єр; проектна потужність; гідроагрегат

СНИЖЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГАЭС

ТИМОШЕНКО Е. А.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ В. В.², канд. техн. наук, доц.,

ТИМОШЕНКО Л. А.³, м. н. с.

КОЛОХОВ А. В.⁴, студ.

^{1*} Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел.+38 (050) 452-43-63, e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

² Кафедра технологий строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(050) 362-26-94, e-mail: kolokhovdnepr@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

³ Кафедра архитектуры, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(095) 329-14-54, e-mail: lvtimoshenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0928-0945

⁴ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38(050) 206-90-48, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID:0000-0002-6353-4363

Аннотация. Постановка проблемы. Энергия в Украине производится большим количеством генерирующих электростанций различных типов. Но, несмотря на значительные экологические преимущества, использование нетрадиционных источников энергии само по себе не решает главной проблемы - обеспечения электричеством пользователей в необходимом объеме и в нужное время. Неравномерность потребления электроэнергии в пределах суток требует наличия резервных и регулирующих мощностей, которые позволяли удовлетворять пиковые потребности промышленности и общества. Генерацию энергии в режиме «по запросу» могут осуществлять только гидро-и гидроаккумулирующие электростанции, которые в то же время оказывают значительное влияние на окружающую среду. **Цель статьи** заключается в определении возможности проектирования и строительства ГАЭС со снижением нагрузки на окружающую среду. **Изложение материала.** Решение проблемы неравномерности потребления электрической энергии требует применения регулирующих мощностей ГАЭС как наиболее мобильных. Стоимость строительства ГАЭС в значительной степени определяется их местоположением, приближением к потребителям электроэнергии и необходимостью компенсации экологических рисков. Снижение нагрузки на окружающую среду может быть достигнуто при комплексном учете экологических потребностей различных отраслей экономики. На примере Рыбальского карьера, расположенного в г. Днiпро, приведены целесообразность размещения на его территории бассейна ГАЭС. Расчет возможной мощности ГАЭС будет определен при оптимизационных расчетах, для которых сформулированы граничные условия. **Выводы.** Анализ возможностей снижения воздействия на окружающую среду при строительстве ГАЭС показал, что существует возможность строительства ГАЭС, которые не добавляют экологических рисков. Определено место для возможного строительства такой станции и сформулирована задача оптимизации для определения ее мощности. Ориентировочная окупаемость проекта составляет пять лет.

Ключевые слова: гидроаккумулирующая электростанция; Рыбальский карьер; проектная мощность; гидроагрегат

LOAD DECREASE ON THE ENVIRONMENT IN THE BUILDING OF PUMP STORAGE PLANT (PSP)

TYMOSHENKO O.A.^{1*}, *Cand., Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
KOLOKHOV V.V.², *Cand., Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
TYMOSHENKO L.O.³, *Junior Researcher*,
KOLOKHOV O.V.⁴, *Student*

^{1*} Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-05, e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3114-9820

² Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38(050) 362-26-94, e-mail: kolokhovdnepri.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

³ Department of Architecture, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38(095) 329-14-54, e-mail: lbvtimoshenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0928-0945

⁴ Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 206-90-48, e-mail: kolokhov@gmail.com, ORCID ID:0000-0002-6353-4363

Abstract. Problem statement. Energy in Ukraine is produced by a large number of generating power plants of various types. But, despite the significant environmental benefits, the use of unconventional energy sources does not solve the main problem - providing electricity to consumers with the required amount and at the right time. The unevenness of electricity consumption in the course of the day requires the availability of reserve and regulatory capacities that would meet the peak needs of industry and society. Generation of energy in the "on-demand" mode can only be performed by hydro (HES), pump storage plants (PSP), which at the same time have a significant impact on the environment. **The purpose of the article** is to determine the possibility of designing and construction of a PSP with a reduction of the load on the environment. **The presentation material.** Solving the problem of uneven electricity consumption requires the use of regulatory capacity of PSP, which are the most mobile ones. The cost of construction of the PSP is largely determined by their location, approaching electricity consumers and the need to compensate for environmental risks. Reducing the load on the environment can be achieved with a comprehensive consideration of the environmental needs of various sectors of the economy. As the example of Rybalskyi quarry, located in the city of Dnipro, it is the expediency of placing on its territory the PSP. The calculation of the potential capacity of the PSP will be determined by optimization calculations, for which the boundary conditions are formulated. **Conclusions.** The analysis of the possibilities of reducing the impact on the environment during the construction of the PSP has shown

that there is a possibility of the construction of the PSP without any environmental risks. A place has been determined for the possible construction of such a PSP and an optimization task has been formulated to determine its power. The estimated payback period of the design project is five years.

Keywords: *pumped storage power station; Rybalsky quarry; project capacity; hydraulic unit*

Постановка проблеми. Енергію в Україні виробляє велика кількість генерувальних електростанцій різних типів: теплові (ТЕС), атомні (АЕС), гідро-(ГЕС), гідроакумулювальні (ГАЕС), вітрові (ВЕС) та сонячні (СЕС). Генерація здійснюється за допомогою значної кількості допоміжних споруд (склади палива, технологічні водойми-охолоджувачі, шлако- та золовідвали, сховища радіоактивних відходів та ін.). Окрім цього до складу системи електроенергетики України входить складна організаційно-технічна система розподілення енергії (лінії електропередач, трансформаторні підстанції тощо) розосереджені по території, що функціонують у безперервно змінних умовах природного середовища.

Викиди ТЕС інтенсивно забруднюють атмосферну вологу й опади через розчинення в них окислів сірки й азоту; а також ґрунти, рослинність – випаданням на них пилу, забрудненого дощу та снігу; а поверхню вод – осадженням водних об'єктах шкідливих речовин та через змив їх у річки й водойми дощовими потоками. Наслідком такого забруднення земної поверхні стає закиснення сільськогосподарських земель та накопичення у ґрунтах важких металів із вугільного попелу, що пригнічує розвиток лісових біоценозів, знижує урожайність сільськогосподарських культур і забруднює небезпечними для людини сполуками продукти харчування.

Зростання масштабів використання електричної енергії, загострення проблем охорони навколишнього середовища значно активізували пошуки екологічно чистіших способів вироблення електричної енергії. Інтенсивно розробляються способи використання непаливної відновлюваної енергії – сонячної, вітрової, геотермальної, енергії хвиль, припливів і відпливів, енергії біогазу та ін. Джерела цих видів енергії – невичерпні, але потрібно розумно оцінити, чи зможуть вони задовольнити усі потреби людства.

Потенційні можливості використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії (сонця, вітру, біомаси тощо) на території України досить значні. За деякими оцінками, використання енергії з нетрадиційних джерел може надати до 1 800 млрд кВт/год електроенергії на рік. Але, не зважаючи на значні екологічні переваги, використання нетрадиційних джерел енергії саме по собі не вирішує головної проблеми – забезпечення електрикою користувачів у необхідному обсязі та в необхідний час.

Нерівномірність споживання електроенергії в межах доби потребує наявності резервних та регульовальних потужностей, які б давали змогу задовольняти пікові потреби промисловості та суспільства. Генерацію енергії в режимі «на запит» можуть здійснювати лише ГЕС та ГАЕС. Інші постачальники мають обмеження, або технологічні для ТЕС та АЕС (функціонування цих електростанцій можливе лише у режимі постійної генерації на одному рівні потужності), або природні для ВЕС (наявність вітру достатньої сили) та СЕС (наявність світла) [1; 2].

Якщо додаткові потреби від базового рівня споживання покриває ГЕС, то «зайву» енергію (за потреби для постачальників нижче базового рівня) необхідно або передати в інший регіон, або акумулювати. Найпростіший спосіб акумуляції – використання ГАЕС. Зростання виробництва електроенергії в Україні супроводжується перерозподілом часток у загальному балансі виробництва, що припадає на окремі типи електростанцій. Так, при загальному рості виробництва електроенергії у січні - червні 2018 р. на 1,95 % порівняно із січнем - червнем 2017 р. виробництво електрики на ГЕС та ГАЕС збільшилось на 32,1 % та склало 9,8 % у загальному балансі (за той же термін 2017 р. -7,6 %) [11].

Тобто збільшення виробництв енергії на ГАЕС доцільне, але воно потребує будівництва нових станцій, що

супроводжується обмеженнями екологічного характеру (будівництво накопичувальних водойм виводить із користування значні обсяги земель та змінює природні умови навкруги). Тому спорудження нових ГАЕС зі зменшенням впливу на навколишнє середовище стає актуальним завданням.

Мета статті полягає у визначенні можливості проектування та будівництва ГАЕС зі зниженням навантаження на навколишнє середовище.

Виклад матеріалу. Світовий досвід використання ГАЕС в енергосистемах показує, що електростанції цього типу можна розміщувати: поблизу місць найбільшого енергоспоживання (тобто біля промислових підприємств та в містах); поряд із великими потужностями, щогенерують електрику на значній відстані від потужностей, що виробляють або та споживають електроенергію. Кожний варіант розміщення ГАЕС має свої специфічні переваги: забезпечення безперервності роботи споживачів, підвищення надійності роботи системи генерації електроенергії, функції регулювання загальносистемних характеристик (забезпечення необхідних значень частоти і напруги) [6].

Найбільш вдалим вважається досвід будівництва ГАЕС, що розміщуються поблизу АЕС, або дві станції будуються в єдиному комплексі. В Україні, наприклад, це Південноукраїнський енергетичний комплекс (ПУЕК), що використовує ядерні (працюють у постійному режимі) і водні ресурси р. Південний Буг (маневровий режим). Проектна потужність комплексу складає 6 243,5 МВт (з яких потужністю АЕС 4 000 МВт). На цей час потужність комплексу складає 3 000 МВт АЕС та 302 МВт ГАЕС (рис.1).

Нині реалізація проекту натикається на значні заперечення екологів, оскільки збільшення водосховищ суттєво впливає на навколишнє середовище. Тому, наприклад, будівництво Костянтинівської ГЕС–ГАЕС (як складової ПУЕК) із Костянтинівським водосховищем припинене.

Інший приклад розташування ГАЕС – Київська ГАЕС, що розташована на відстані 10 км від меж Києва та входить (сумісно з

Київською ГЕС) до складу гідроенергетичного комплексу (рис. 2). Робота цього комплексу дозволяє вирівнювати пікове навантаження в столиці.



Рис. 1. Південноукраїнський енергетичний комплекс у складі : Південноукраїнської АЕС (1), Ташлицької ГАЕС (2) / Fig. 1. The South-Ukrainian power complex consisting of the South-Ukrainian NPP (1), Tashlykaya HPP (2)

Штучно створена верхня водойма корисною ємністю у 3,7 млн м³ займає значну площу та являє собою джерело можливої загрози, оскільки розташована на висоті 70 м над рівнем водосховища Київської ГЕС.

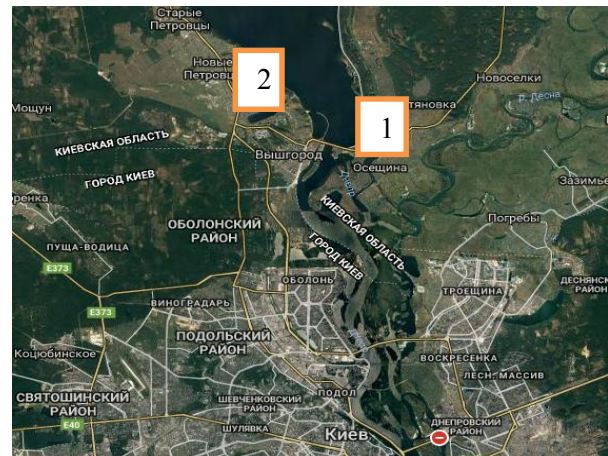


Рис. 2. Гідроенергетичний комплекс Київських ГЕС та ГАЕС у складі : ГЕС (1), ГАЕС (2) / Fig. 2. The hydropower complex of the Kyiv Hydroelectric Power Plant and the HPSS consists of the HES (1), the HPSS (2)

Третій тип розташування демонструє Дністровська ГАЕС на річці Дністер. Ця станція функціонує як складова Дністровського каскаду, реалізованого у річковому басейні Дністра з двох ГЕС та

однієї ГАЕС (рис. 3).



Рис. 3. Дністровський каскад у складі : Дністровської ГЕС-1 (1), Дністровської ГАЕС (2) та Дністровської ГЕС-2 (3) / Fig. 3. Dniester cascade comprising: Dniester HPS-1 (1), Dniester HPSP (2) and Dniester HPS-2 (3)

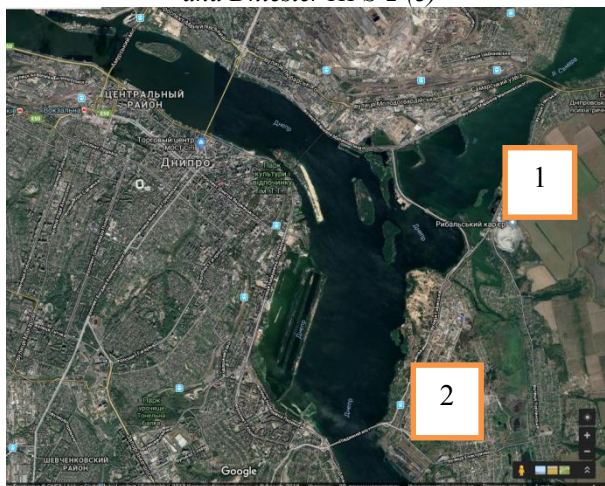


Рис. 4. Рибальський кар'єр (1) на мапі м. Дніпро та Придніпровська ТЕС (2) / Fig. 4. Fishery Quarry (1) on the map of the city of Dnipro and Pridniprovsk TPP (2)

Дністровський комплекс уже зараз має унікальну можливість регулювання параметрів енергосистеми України. На сьогодні сумарна потужність станцій становить 1115 МВт. Планується, що четвертий гідроагрегат ГАЕС стане до роботи в I кварталі 2019 року. Після добудови встановлена електрична потужність Дністровської ГАЕС (7 насосів-турбін) має складати 2268 МВт у генерувальному режимі та 2947 МВт у насосному режимі. Така потужність виводить станцію на перше місце у Європі та у шістку найпотужніших ГАЕС у світі. Але й у цьому випадку до проекту є багато зауважень від екологів.

Аналіз недоліків та переваг ГАЕС, що надають різні джерела, з нашої точки зору, переконує в необхідності розвитку потужностей ГАЕС, але з мінімізуванням впливу на навколишнє середовище. Такої начебто дуже суперечливої мети можна досягти, ліквідуючи під час будівництва ГАЕС джерела негативного навантаження на навколишнє середовище.

Одні з таких джерел - кар'єри з видобутку будівельних матеріалів. За ступенем впливу вони майже найбільш несприятливі негативні чинники на довкілля. Історично склалось, що кар'єри розташовувались поблизу міст, оскільки вартість транспортування сировини значна.

На мапі м. Дніпро (рис. 4) помітна зона Рибальського кар'єру, де видобувають гранітний щебінь із 1932 року. Кар'єр розташований поблизу річки. Його глибина на сьогодні складає понад 80 м від поверхні, а територія виробленого простору становить близько 40 га.

Зазвичай один із двох басейнів ГАЕС розташовують вище річки, яка й виконує роль другого басейну. Значні кошти витрачаються на будівництво цієї гідротехнічної споруди. У разі використання Рибальського кар'єру як нижнього басейну на цих витратах можна заощадити.

Європейський досвід показує доцільність будівництва ЕС, коли вартість коштів, витрачених на спорудження одного кіловата нових генерувальних потужностей, не перевищує 2000 євро. Використання особливостей місцевості (на прикладі будівництва Дністровської ГАЕС) може знизити вартість будівництва утричі. Але й у цьому випадку передбачається багато земляних робіт. Як що у разі використання Рибальського кар'єру як нижнього басейну ГАЕС обсяг таких робіт буде дуже незначний, то вартість будівництва буде ще нижча. Враховуючи наявність розгалуженої мережі енергопостачання та наявність у межах міста значних генерувальних потужностей (Придніпровська ТЕС), привабливість будівництва ГАЕС на базі Рибальського кар'єру зростає. Потужність майбутньої ГАЕС можна визначити, порівнявши її з існуючою Київською ГАЕС.

Об'єм ковша Київської станції складає 7 млн м³.

Об'єм Рибальського кар'єру - 14 млн м³.

Верхня водойма Київської ГАЕС розташована над рівнем водосховища Київської ГЕС на 70 м.

Глибина Рибальського кар'єру – 80 м від рівня р. Дніпро.

Площа дзеркала верхньої водойми Київської ГАЕС перевищує площу водойми на базі Рибальського кар'єру більше ніж удвічі.

Середньорічне виробництво Київської ГАЕС — до 200 млн кВт-г.

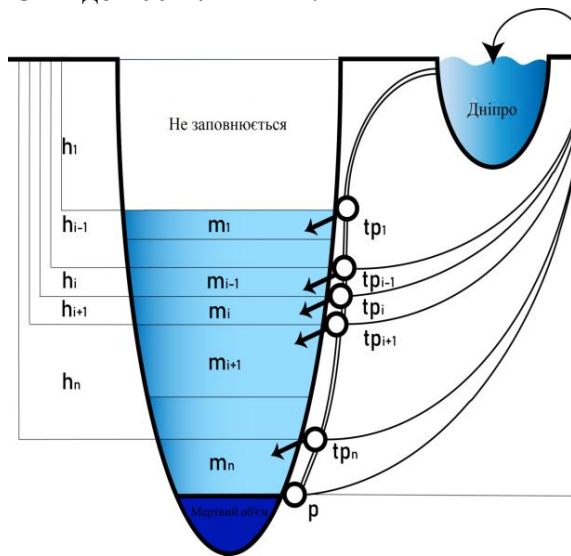


Рис. 5. Схема до розрахунку оптимальної кількості гідроагрегатів Дніпровської ГАЕС із використанням Рибальського кар'єру як нижнього басейну:

P – насосний агрегат; tp – гідроагрегат;

h – висота від поверхні кар'єру до гідроагрегата;

m – маса води / Fig. 5. Scheme to calculate the optimal

number of hydro units of the Dnipro HPS using the Fisherman's Quarry as a Lower Basin:

P – pump unit; tp – hydro unit;

h – height from the surface of the quarry to the hydroelectric unit; m – the mass of water

У разі забезпечення виробництва енергії Дніпровською ГАЕС на рівні Київської ГАЕС окупність проекту становитиме приблизно п'ять років.

Однак для визначення оптимальної потужності Дніпровської ГАЕС необхідно з'ясувати кількість та межі розташування гідроагрегатів майбутньої станції, оскільки схема роботи ГАЕС буде відрізнятися від звичайної. Оптимальну кількість гідроагрегатів для максимального виробітку енергії можна визначити з розрахунку за схемою на рисунку 5, застосовуючи наведені нижче рівняння:

$$\sum_{i=1}^n m_i g h_i \rightarrow \max ;$$

$$\sum_{i=1}^n m_i g h'_i \rightarrow \min .$$

$$n \rightarrow \min$$

Розробляючи робочий проект будівництва ГАЕС, необхідно врахувати також ефект від поліпшення екологічної ситуації навколо Рибальського кар'єру та створення додаткових робочих місць.

Висновки. Аналіз можливостей зниження впливу на навколишнє середовище у разі будівництва ГАЕС показав, що:

- існує можливість побудови ГАЕС, які б не додавали екологічних ризиків;
- визначено місце для можливого спорудження такої ГАЕС;
- сформульовано задачу оптимізації для визначення потужності такої ГАЕС;
- орієнтовна окупність проекту складає п'ять років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ландау Ю. А. Гидроэнергетика и окружающая среда : монография / Ю. А. Ландау. – Киев : Либра, 2004. – 167 с.
2. Бабурин Б. Л. Гидроаккумулирующие электростанции : монография / Б. Л. Бабурин. – Москва : Энергия, 2008. – 98 с.
3. Серебряников Н. И. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС : монография / Н. И. Серебряников. – Москва : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2000. – 54 с.
4. Субботин А. С. Гидротехника и мелиорация / А. С. Субботин, В. А. Хаустов [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://hva.rshu.ru/ob/gidroteh/uch/3/chapter17/3_17_1.htm
5. Безруких П. П. Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии / П. П. Безруких, Д. С. Стребков // Малая энергетика. – 2005. – № 1–2. – С. 14–23.
6. Елистратов В. В. Гидравлическое аккумулирование энергии возобновляемых источников / В. В. Елистратов // Гидротехническое строительство. – 2006. – № 10. – С. 35–40.

7. Кириленко О. В. Енергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови / О. В. Кириленко, А. В. Праховник // Праці Інституту електродинаміки. Спеціальний випуск. – 2010. – С. 10–16.
8. Acharya N. An analytical approach for DG allocation in primary distribution network / N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulanathan // Electric Power and Energy Systems. – 2006. – Vol. 28. – Pp. 669–678.
9. Dolezal J. The effect of dispersed generation on power quality in distribution system / J. Dolezal, P. Sautarius., J. Tlustý // Quality and Security of Electric Power Delivery Systems. CIGRE / IEEE PES International Symposium. – 2003. – Pp. 204–207.
10. Кириленко О. В. Інтелектуальні системи керування потоками електроенергії у локальних об'єктах / О. В. Кириленко, Ю. С. Петергеря, Т. О. Терещенко, В. Я. Жуйков. – Київ : Медіа ПРЕС, 2005. – 211 с.

REFERENCES

1. Landau Yu. A. *Gidro`energetika i okruzhayushaya sreda* [Hydropower and the environment]. Kyiv : Libra, 2004, 167 p. (in Russian).
2. Baburin B. L. *Gidroakkumuliruyushie `elektrostantsii* [Pumped Storage Power Plants]. Moscow : Energy, 2008, 98 p. (in Russian).
3. Serebryanikov N. I. *Gidroakkumuliruyushie `elektrostantsii. Stroitel'stvo i `ekspluatatsiya Zagorskoj GAES* [Pumped storage power plants. Construction and operation of Zagorskaya PSP]. Moscow : SC ENAS Publ., 2000, 54 p. (in Russian).
4. Subbotin A. S. and Khaustov V. A. *Gidrotehnika i melioratsiya* [Hydrotechnics and Land Reclamation]. Electronic resource. (in Russian).
5. Bezrukih P. P. and Strebkov D. S. *Sostoyaniye, perspektivy i problemy razvitiya vozobnovlyаемых istochnikov `energii* [State, prospects and problems of development of renewable energy sources]. *Malaya `energetika* [Low energy]. 2005, no. 1–2, pp. 14–23. (in Russian).
6. Yelistratov V. V. *Gidravlichesкое аккумуляирование `energii vozobnovlyаемых istochnikov* [Hydraulic energy storage of renewable sources]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic engineering]. 2006, no. 10, pp. 35–40. (in Russian).
7. Kirilenko O. V. and Prakhovnik A. V. *Energetika stalogo rozvittku: vikliki ta shlyahi pobudovi* [Sustainable Energy: Challenges and Construction]. *Praci Institutu elektrodinamiki. Special'nij vipusk* [Works of the Institute of Electrodynamics. Special issue]. 2010, pp. 10–16. (in Ukrainian).
8. Acharya N., Mahat P. and Mithulanathan N. An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. *Electric Power and Energy Systems*, 2006, vol. 28, pp. 669–678.
9. Dolezal J., Sautarius P. And Tlustý J. The effect of dispersed generation on power quality in distribution system. *Quality and Security of Electric Power Delivery Systems. CIGRE/IEEE PES International Symposium*, 2003, pp. 204–207.
10. Kyrylenko O. V., Petergerya Yu. S., Tereshchenko and Zhuykov V. Ya. *Intelektual'ni systemy keruvannya potokamy elektroenerhiyi u lokal'nykh ob'yecktakh* [Intelligent power flow control systems in local objects]. Kyiv : Media PRES, 2005, 211 c. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 23.01.2019 р.