

ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ ГЕС ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ

В статті розглянуто потенціал для розвитку гідроенергетики в Україні. Проаналізовано переваги і недоліки малої гідроенергетики в Україні. Досліджено можливість використання малих ГЕС для забезпечення надійного електропостачання побутових споживачів і підприємств. Використання малих гідроенергетичних установок має багато переваг в порівнянні з великомасштабним виробництвом гідроенергії. ГЕС було визначено як гарну альтернативу генерації традиційної електроенергії. Використання малих ГЕС має значні економічні переваги. Розроблено модель мікроелектромережі з поновлюваним джерелом енергії (малою ГЕС) і зв'язком з розподільною електричною мережею в ПП MATLAB SIMULINK. Запропонована модель мікроелектромережі з поновлюваним джерелом енергії (малою ГЕС) дозволяє проаналізувати нормальні і аварійні режими (трифазне коротке замикання) мікроелектромережі, також дозволяє розглядати різні режими роботи споживачів залежно від характеру навантаження (активне, індуктивне, ємнісне і змішане). Однак на їх надійну роботу впливають різні технічні та економічні фактори, які можна дослідити за допомогою розробленої моделі.

Ключові слова: гідроенергетика, малі гідроелектростанції, гідроагрегат, MATLAB Simulink, мікроелектромережа.

S.O. KULMATYTSKYI

FEA "Novosvit"

A.S. KULMATYTSKA

Vinnitsia National Technical University

USE OF SMALL HYDROPOWER PLANTS FOR IMPROVEMENT OF ELECTRIC SUPPLY OF ENTERPRISES

The article considers the potential for the development of hydropower in Ukraine. The advantages and disadvantages of small hydropower in Ukraine are analyzed. The possibility of using small hydropower stations to provide reliable power supply to household consumers and agro-industrial enterprises was investigated. The use of small hydropower plants has many advantages in comparison with large-scale hydropower production. HPP was identified as a good alternative to generating traditional electricity. The use of small hydropower plants has significant economic advantages. A model of the micropowegrads in the PC MATLAB SIMULINK was developed. The proposed model of micropowegrads with a renewable energy source (small HPP) allows us to analyze the normal and emergency modes (three-phase short circuit) of micropowegrads. Also, allows you to consider the different modes of operation of APC consumers depending on the nature of the load (active, inductive, capacitive and mixed). However, their reliable work is influenced by various technical and economic factors. The offered microelectric network with the consumer in the form of the enterprise is modelled in the environment of Matlab / Simulink. In this work, the hydroelectric power station with one unit of 270 kW power is considered. Power simulation of the operation modes of the microelectric network showed high performance for the stages of change in reference power. The model of the grid is designed in accordance with the previously developed design specification. A suite of SimPowerSystems development tools in the Matlab / Simulink environment is used to implement this project. The developed model is a model of a closed loop, managed to maintain the speed of rotation and the reversal of synchronism. The speed of the turbine rotor is double-controlled with the sprinkler valve and deflector mechanism, and both of these mechanisms are combined into a turbine control module. In addition, the generator excitation system consists of a mechanism of the voltage regulator, which provides control over voltage change based on the V_q and V_d components of the stator voltage. This allows the generator to maintain voltage across the terminal in a wide operating range, supporting synchronization with the network.

Key words: hydropower, small hydroelectric power stations, hydroelectric unit, MATLAB Simulink, micropowegrads.

Вступ

Високі тарифи на електроенергію для промислових підприємств, безперервне зростання територіально рознесених і віддалених від електричних мереж об'єктів малої потужності, розташованих недалеко від водних потоків, призводить до потреби вирішення завдання створення недорогих та ефективних автономних автоматизованих мікро- та малих ГЕС з метою задоволення побутових і виробничих потреб в електроенергії [1, 2]. Висока енергетична щільність потоків води, широкі можливості регулювання їх енергії та відносна тимчасова стабільність режиму стоку більшості річок дозволяють використовувати прості та дешеві системи генерації та стабілізації параметрів виробленої електроенергії. Сучасні досягнення в галузі електромашинобудування, електроніки та трансформаторської техніки дозволяють створювати надійні та недорогі автономні автоматизовані мікро-ГЕС, що забезпечують отримання високоякісної електроенергії за мінімальних вимог до гідроагрегата [3, 4]. В роботах [3, 4] запропоновані нові установки для генерації електроенергії використовуючи енергію малих рівних річок і струмочків.

Україна має потенціал для розвитку гідроенергетики. На Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км (середня довжина такого водотоку – 1,9 км). Більшість (87%) малих річок довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км². Найбільшою водоносністю відрізняються річки Західної України [5].

До недоліків малої гідроенергетики, що впливають на її ефективність, можна віднести нестійкість

генерування електроенергії, викликану гідрологічним режимом малих річок, ймовірність аварій на малих гідровузлах в разі паводків. При використанні малих ГЕС для вирішення задач надійного електропостачання підприємств виникає ряд проблем, зокрема недостатня вивченість гідрологічного режиму та стоку малих водотоків; відсутність серійного виробництва обладнання та сервісної служби з його обслуговування, відносно висока в багатьох випадках питома вартість встановленої потужності, недостатньо розроблена нормативно-методична документація, а також технічні умови з проектування, будівництва споруд, монтажу обладнання [3].

Мета і задачі роботи

Тому актуальними є задачі вдосконалення існуючих і розробка нових моделей роботи малих ГЕС з використанням сучасних комп'ютерних програм і досвіду інших країн, як на етапі проектних робіт, так і в режимі реального часу їх роботи, що дасть змогу оптимізувати їх режими роботи і налагодити технологічні процеси агропромислових підприємств, забезпечуючи максимальне використання енергії поновлюваних джерел.

Аналіз попередніх досліджень

Світ вступає на новий етап з виробництва енергії. Основна увага приділяється скороченню викидів CO₂, підвищенню енергетичної безпеки та покращенню стійкості і надійності. Однак реалізація цього потребує додаткових коштів, які частково буде сплачувати споживач.

Тому генерація енергії повинна бути економічно обґрунтованою. Попит на нафтогазові ресурси продовжує зростати, і чітко прослідковується невизначеність щодо довготривалої можливості використання нафти та газу, причиною якої є не тільки екологічні проблеми, а й політичні конфлікти. На додаток до цього, після подій у Фукусімі, багато країн відмовилось від найдешевшої атомної електроенергії. Крім того, проблеми з утилізацією відходів та зняття з експлуатації все ще існують, а витрати продовжують зростати. Хоча вугілля є дешевою альтернативою, викиди парникових газів надзвичайно високі, і це не може бути рішенням для розвитку довгострокової енергетики. Тому глобальне виробництво енергії має значно більше використовувати нові джерела поновлюваних джерел енергії та зосереджуватись більше на енергоефективності. Однак більшість відновлюваних джерел не є економічно життєздатними, що робить їх дуже непривабливими для країн, які розвиваються. Гідроенергетика є економічно вигідним джерелом відновлюваної енергії. Також гідротехнічна технологія є досить надійною і перевірною для довгострокової енергетики. На розвиток глобального виробництва гідроенергії впливає відсутність потенційних об'єктів, значні капітальні витрати, тривалий період окупності тощо. Проте ці проблеми вирішуються з розвитком малих гідроенергетичних потужностей [6–8], які останнім часом набирають обертів. Зокрема, існує великий інтерес до запуску мікро-, міні- та малих ГЕС. Економічна привабливість мікро-, міні- та малих ГЕС багато в чому залежить від обраного місця та його гідрологічних характеристик. Розмір системи та параметри проектування повинні бути ретельно вибрані для оптимізації економічної експлуатації електростанції. Зазвичай надійна і економічно вигідна експлуатація річкових електростанцій вимагає ефективного використання усього діапазону потоку води.

Проблеми і перспективи малої гідроенергетики України розглянуті в доповіді Нікіторовича А.В. «Малые гидроэлектростанции Украины: прошлое, настоящее, будущее», зокрема зазначено, що у 70-і – 80-і роки з розвитком великих ТЕС, атомних і гідроелектростанцій, зростанням централізації енергопостачання, а також низькими цінами на паливо і електроенергію в відомствах і підприємствах, на балансі яких перебували МГЕС, інтерес до них зник, почалася їх консервація та стихійний демонтаж [9].

На думку автора розвиток малої гідроенергетики України передбачає: оновлення та реконструкцію існуючих і діючих міні-ГЕС; будівництво нових міні-ГЕС в районах децентралізованого енергопостачання; будівництво міні-ГЕС в регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ і видатків; нове будівництво з концентрацією напору.

На рис. 2 показана відновлена ЗЕА «Новосвіт» ГЕС «Сандрацька», яка знаходиться в с. Широка Гребля Вінницької області.



Рис. 1. ГЕС «Сандрацька»

В аналітичній доповіді «Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України» авторів Суходолі О.М., Сидоренко А.А., Бегуна С.В., Білухи А.А., зазначено: «Активізації

розвитку МГЕС останніми роками сприяло запроваджене в Україні з 2009 року стимулююче законодавство, зокрема введення стимулюючих «зелених тарифів» на закупівлю електроенергії від виробників чистої енергії, зокрема малих ГЕС. Даний стимулюючий механізм запроваджений державою значно підвищити інтерес приватних інвесторів до відновлення об'єктів малої гідроенергетики. Переважно робота з відновлення малих ГЕС була проведена в Вінницькій, Черкаській, Хмельницькій, Тернопільській та Житомирській областях [10].

Тому турбіна та генераторні агрегати повинні мати такі технічні параметри, що дозволять працювати з високою ефективністю у всьому діапазоні. На додаток до цього, для підтримки синхронізму потрібен механізм управління лопатями гідроагрегату для річок з різною швидкістю потоку. В даній роботі модель енергосистеми розроблена в середовищі Matlab/Simulink [11] з відповідною технологією керування. Отримана в результаті енергетична модель моделі може використовуватись для імітації різних режимів роботи гідроагрегатів ГЕС.

В статті авторів Анурадха Щієсінге і Лой Лей Лая розглядається проект побудови малої ГЕС на острові Шрі-Ланка [6]. Вибране місце для побудови ГЕС розташоване в вологій зоні високогір'я Шрі-Ланки, що забезпечує високий рівень необхідних опадів, а середні опади на об'єкті проекту приблизно 4400 мм. Природний підйом землі використовується для збільшення ККД.

Вибір гідроагрегату

Вибір гідроагрегату визначається типом річки. Внаслідок великого діапазону зміни швидкості потоку гідроагрегат не зможе працювати у всьому діапазоні потоку. Тому для розрахунку потенціалу генерації електроенергії проекту потрібно обирати різні діапазони потоку. Ефективною вважається конструкція турбіни, що здатна працювати при мінімальному об'ємі потоку кожного діапазону і вибирається як одна п'ята частина максимального. На додаток до цього, екологічний викид 0,5 м³/с вибирається для підтримки навколишнього середовища між споживачем та електростанцією. Мінімальний коефіцієнт витрат для роботи турбіни становить 0,25 м³/с, а після врахування потоку навколишнього середовища мінімальна швидкість потоку для виробництва енергії складає 0,75 м³/с. Загальна ефективність системи 80 % очікується на основі наявних на сучасних ринках гідроелектромашин. Номінальна вихідна потужність для різних діапазонів потоку розраховується з наступного рівняння:

$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (1)$$

де η , η_g , η_m – коефіцієнти корисної дії (турбіни, генератора, механічної передачі);

P – потужність;

η – ефективність системи;

ρ – щільність води (кг/м³);

g – гравітаційна стала;

Q – об'ємна витрата води (м³/с);

H – висота напору, м.

Пікове виробництво електроенергії для системи будь-якого розміру одержується з наступного рівняння:

$$E_{\max} = P_{\max} \cdot t, \quad (2)$$

E_{\max} – максимальне значення електроенергії;

P_{\max} – максимальне значення потужності;

t – кількість годин на рік, коли система забезпечує максимальну генерацію.

Очікувана генерація енергії протягом року, як правило, є набагато меншою, ніж максимальна. Очікувана річна генерація енергії розраховується на основі щорічної зміни швидкості потоку. Орієнтовна середня генерація енергії на рік для будь-якої системи обчислюється з наступного рівняння:

$$E_{\text{avg}} = \frac{1}{100} \sum_{k=n_1}^{n_n} P_k \cdot \eta \{N_k - N_{k+1}\}, \quad (3)$$

N_k – абсолютна ймовірність заданої витрати.

Коефіцієнт потужності електростанції є показником використання її загального потенціалу. Він також відомий як співвідношення середньої очікуваної генерації енергії до потенційної максимальної генерації енергії. Коефіцієнт розраховується для кожного діапазону з використанням наступного рівняння:

$$f = \frac{1}{100} \left\{ \frac{\sum_{k=n_1}^{n_n} P_k \cdot \eta \{N_k - N_{k+1}\}}{P_{\max} \cdot \eta} \right\} \times 100\% \quad (4)$$

Модель мікроелектромережі в середовищі Matlab / Simulink з використанням елементів SimPowerSystems

Незалежні малі електростанції мають юридичне зобов'язання підтримувати безпеку та якість електроенергії в межах норми. Основні компоненти розподільчих пристроїв включають основний вимикач, який використовується для підключення або відключення генератора від електромережі. Силові трансформатори та трансформатори струму, що використовуються для перетворення високих напруг і

струмів на більш контрольовані рівні для вимірювання. Заземлення здійснюється відповідно до вимог, встановлених оператором мережі. Вимірювальне обладнання (лічильники) встановлюється в точці підключення до розподільної мережі. Для удосконалення конструктивного виконання гідроагрегатів ГЕС і забезпечення ефективної роботи запропоновано використовувати імітаційну модель роботи ГЕС. Запропонована модель може використовуватись на етапі проектних робіт, а може адаптуватись і використовуватись в режимі реального часу. Основна перевага даного проекту – це моделювання всіх режимів роботи гідроагрегатів як за прогнозованими, так і реальними даними. Це дасть змогу зменшити шкідливий вплив всіх факторів, і підібрати оптимальні параметри роботи гідроагрегатів.

В побудованій моделі використовується турбіна вертикального виконання. Потужність обладнання – 270 кВт.

Окрім загальної моделі енергосистеми, навантаження на 15 кВт розміщується на стороні низької напруги трансформатора для моделювання споживання енергії у будинку (побутовий споживач) та навантаження 120 кВт (підприємство АПК), а джерело напруги трифазного струму для зовнішньої розподільної мережі. Навантаження підприємства АПК може бути активним, індуктивним, ємнісним, змішаним залежно від електрообладнання, що використовується на підприємстві (рис. 2 і рис. 3). Також на виході трансформатора розміщується блок, який моделює трифазне КЗ.

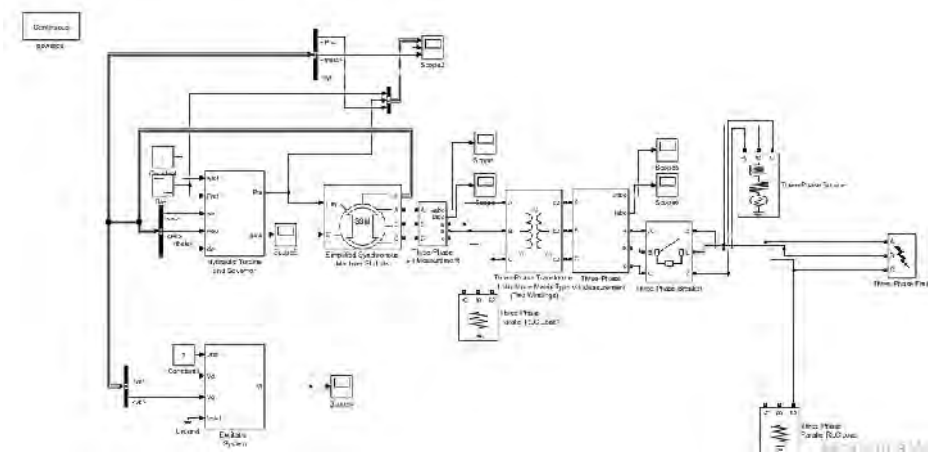


Рис. 2. Схема електричної мережі з побутовим споживачем і споживачем АПК (активне навантаження)

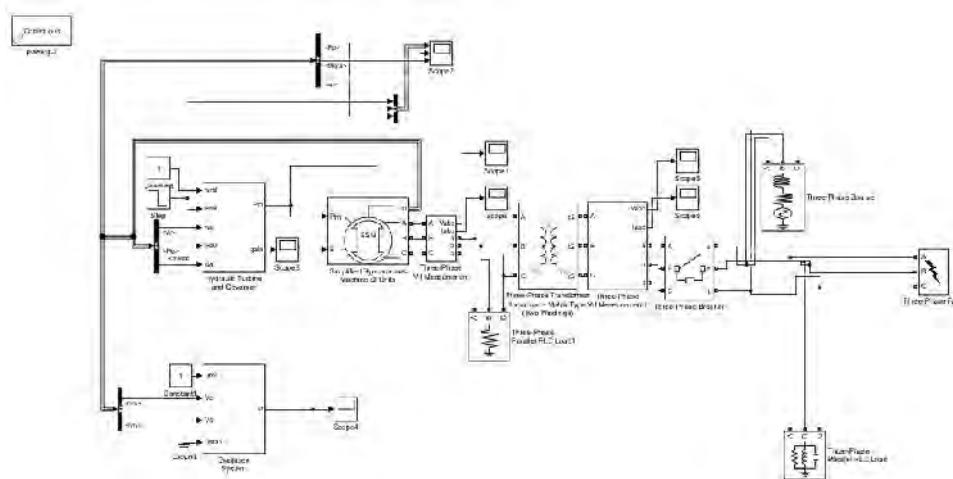


Рис. 3. Схема електричної мережі з побутовим споживачем і споживачем у вигляді підприємства (активно-індуктивно-ємнісне навантаження)

Модель енергосистеми розроблена відповідно до розробленої раніше конструктивної специфікації. Набір інструментів розробки SimPowerSystems в середовищі Matlab/Simulink використовується для реалізації цього проекту [11]. Розроблена модель являє собою модель замкнутого циклу, керованого для підтримки швидкості обертання і створення синхронізму. Швидкість ротора турбіни подвійно контролюється за допомогою спринклерного клапана та дефлекторного механізму, і обидва ці механізми об'єднуються в модуль керування турбіною. Крім того, генераторна система збудження складається з механізму регулятора напруги, який забезпечує контроль за зміною напруги на основі V_q та V_d компонентів напруги статора. Це дозволяє генератору підтримувати напругу на терміналі в широкому робочому діапазоні, підтримуючи синхронізм із мережею.

Висновки

Малі ГЕС є стабільним та економічно вигідним джерелом енергії. Це гарне рішення глобальної енергетичної проблеми. Зокрема, останнім часом великий інтерес викликали малі і мікро-ГЕС річкового типу. Запропонована мікроелектромережа зі споживачем у вигляді підприємства моделюється в середовищі Matlab/Simulink. В роботі розглянута ГЕС з одним агрегатом потужністю 270 кВт. Енергетична симуляція режимів роботи мікроелектромережі показала високу продуктивність для етапів зміни опорної потужності.

Література

1. Свит П. П. Разработка микро-ГЭС с асинхронными генераторами для сельскохозяйственных потребителей : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / Павел Петрович Свит. – Барнаул, 2007. – 246 с.
2. Ковальчук О. ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням / О. Ковальчук, О. Нікіторович, П. Лежнюк, В. Кулик // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 54–58.
3. Пат. № 69829, Україна, МПК51 H02K 17/00. Гідроелектроенергетична установка «СТРУМОК» / Янович В.П., Жданович Л.О., Верля Н.Й., Дунська Т.Л. (Україна); заявник та патентовласник ВНАУ «Він. нац. аграр. ун.-т». – № у 2011 13999; заявл. 28.11.11; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 6 с.
4. Пат. № 61261, Україна, МПК51 F03G 3/00, B60K 16/00. Наплавна гідроелектроенергетична установка «ЧАЙКА» / Янович В.П., Жданович Л.О. (Україна); заявник та патентовласник ВНАУ «Він. нац. аграр. ун.-т». – № у 2011 00278; заявл. 10.01.11; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. – 4 с.
5. Ясинский В. А. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ [Электронный ресурс] / В. А. Ясинский, А. П. Мироненков, Т. Т. Сарсембеков // Отраслевой обзор. – 2011. – № 4. – 36 с. – Режим доступа : http://www.cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf
6. Anuradha Wijesinghe. Small Hydro Power Plant Analysis and Development / Anuradha Wijesinghe, Loi Lei Lai // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on 6-9 July 2011. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5993857/authors>. – DOI: 10.1109/DRPT.2011.5993857
7. British Hydropower Association. Hydro Facts. URL: http://www.british-hydro.org/hydro_facts.html
8. Small Hydro Power Handbook. URL: <http://pakpas.org/HYDRO.3/1.SHEPP/hydro-handbook.pdf>
9. Нікіторович А.В. Малые электростанции Украины: прошлое, настоящие, будущие [Электронный ресурс] / А.В. Нікіторович. – 2011. – Режим доступа : http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_table/0620_pres3.pdf
10. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналіт. доп. / О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко, С. В. Бегун, А. А. Білуха. – К. : НІСД, 2014. – 112 с. – (Сер. «Національна безпека», вип. 8).
11. Дьяконов В.П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике: справочник / Дьяконов В.П., Пеньков А.А. – М. : «Горячая линия – Телеком», 2009. – 816 с.

References

1. Svit P. P. Razrabotka mikro-GES s asinhronnyimi generatorami dlya sel'skohozyaystvennykh potrebiteley : dis. ... kand. tehn. nauk : spets. 05.20.02 – Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v sel'skom hozyaystve / Pavel Petrovich Svit. – Barnaul, 2007. – 246 s.
2. Kovalchuk O. HES v lokalnykh elektrychnykh systemakh z rozoseredzhenym heneruvanniam / O. Kovalchuk, O. Nikitorovych, P. Lezhniuk, V. Kulyk // Hidroenerhetyka Ukrainy. – 2011. – № 1. – S. 54–58.
3. Pat. № 69829, Ukraina, MPK51 H02K 17/00. Hidroelektroenerhetychna ustanovka «STRUMOK» / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O., Verlia N.I., Dunska T.L. (Ukraina); zaiavnyk ta patentovlasnyk VNAU «Vin. nats. ahrar. un.-t». – № u 2011 13999; zaiavl. 28.11.11; opubl. 10.05.2012, Biul. № 9. – 6 s.
4. Pat. № 61261, Ukraina, MPK51 F03G 3/00, B60K 16/00. Naplavna hidroelektroenerhetychna ustanovka «ChAIKA» / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O. (Ukraina); zaiavnyk ta patentovlasnyk VNAU «Vin. nats. ahrar. un.-t». – № u 2011 00278; zaiavl. 10.01.11; opubl. 11.07.2011, Biul. № 13. – 4 s.
5. Yasinskiy V. A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya maloy gidroenergetiki v stranah SNG [Elektronnyiy resurs] / V. A. Yasinskiy, A. P. Mironenkov, T. T. Sarsembekov // Otrasevyy obzor. – 2011. – № 4. – 36 s. – Rejim dostupa : http://www.cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf
6. Anuradha Wijesinghe. Small Hydro Power Plant Analysis and Development / Anuradha Wijesinghe, Loi Lei Lai // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on 6-9 July 2011. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5993857/authors>. – DOI: 10.1109/DRPT.2011.5993857
7. British Hydropower Association. Hydro Facts. URL: http://www.british-hydro.org/hydro_facts.html
8. Small Hydro Power Handbook. URL: <http://pakpas.org/HYDRO.3/1.SHEPP/hydro-handbook.pdf>
9. Nikitorovich A.V. Malyie elektrostantsii Ukrainyi: proshloe, nastoyaschie, budushchie [Elektronnyiy resurs] / A.V. Nikitorovich. – 2011. – Rejim dostupa : http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_table/0620_pres3.pdf
10. Suchasnyy stan, problemy ta perspektivy rozvytku hidroenerhetyky Ukrainy : analit. dop. / O. M. Sukhodolia, A. A. Sydorenko, S. V. Biehun, A. A. Bilukha. – K. : NISD, 2014. – 112 s. – (Ser. «Natsionalna bezpeka», vyp. 8).
11. Dyakonov V.P. MATLAB i Simulink v elektroenergetike: spravochnik / Dyakonov V.P., Penkov A.A. – M. : «Goryachaya liniya – Telekom», 2009. – 816 s.

Рецензія/Peer review : 24.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією