

УДК 621.22

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦЇЛЬНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ МАЛИХ ГЕС НА РІЧЦІ ГНИЛОП'ЯТЬ БАСЕЙНУ ДНІПРА

**В.В. Дубровська**, кандидат технічних наук, доцент, **В.І. Шкляр**, кандидат технічних наук, доцент, **А.С. Пелєвін**, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Інститут енергозбереження та енергоменеджменту.

*Визначено гідроенергетичний потенціал малих річок Поліської гідрологічної зони басейну Дніпра за методом Григор'єва. Побудовано вертикальний профіль річки Гнилоп'ять у програмному забезпеченні «Google Планета Земля Про» з визначенням місця встановлення малої гідроелектростанції. Визначено оптимальний кут повороту лопаток робочого колеса гідротурбіни Каплана та розрахована мала ГЕС з даною турбіною потужністю 148 кВт з використанням програмних продуктів SolidWorks та RETScreen 4. Виробництво річної електроенергії склало 1167 МВт·год з чистим щорічним скороченням викидів парникових газів 438,1 т CO<sub>2</sub> та терміном окупності 1,7 роки. Бібл. 13, табл. 4, рис. 7.*

**Ключові слова:** гідроенергетичний потенціал, мала річка, гідротурбіна, програмне забезпечення, швидкість потоку, мала ГЕС.

## SUBSTANTIATION OF THE FEASIBILITY OF INSTALLING SMALL HYDROELECTRIC POWER STATIONS ON HNYLOPIAT RIVER OF THE DNIPRO BASIN

**V. Dubrovskya**, Ph.D., associate professor, **V. Shklyar**, Ph.D., associate professor, **A. Pielievin**, master's degree

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Institute of Energy Saving and Energy Management

*Hydropower potential of small rivers of the Polissian hydrological zone of the Dnipro basin is determined by the Hryhoriev method. A vertical profile of Hnylopiat River has been constructed using Google Earth Pro software with the determination of the site for the installation of a small hydroelectric power station. The optimal angle of rotation of the blades of the impeller of Kaplan hydro turbine has been determined and a small 148 kW hydropower plant with a given turbine has been designed using SolidWorks and RETScreen software products. The annual electricity generation was 1167 MWh, with a net annual reduction of greenhouse gas emissions of 438.1 tCO<sub>2</sub> and the term payback period of 1.7 years. References 13, tables 4, fig. 7.*

**Keywords:** hydropower potential, small river, hydro turbine, software, flow rate, small hydroelectric power station.



В.В. Дубровська  
V. Dubrovskya

**Відомості про автора:** доцент кафедри теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», кандидат технічних наук.

**Освіта:** Київський політехнічний інститут. Спеціальність «Теплові електричні станції».

**Наукова сфера:** енергетика, відновлювальні джерела енергії та енергозбереження.

**Публікації:** більше 60, 6 із них міститься в наукометричній базі Scopus та Web of Science.

**ORCID:** 0000-0003-4765-0484

**Контакти:** +38 (067) 234-42-07

**Information about the author:** associate professor of the Department of Thermal Engineering, and Energy Saving of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», candidate of technical sciences.

**Education:** Kiev Polytechnic Institute. Specialty «Thermal Power Plants».

**Research area:** energetics, renewable energy, and energy saving.

**Publications:** more than 60, 6 of them are in Scopus and Web of Science journals.

**ORCID:** 0000-0003-4765-0484

**Contacts:** +38 (067) 234-42-07



В.І. Шкляр  
V. Shklyar

**Відомості про автора:** доцент кафедри теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», кандидат технічних наук.

**Освіта:** Київський технологічний інститут харчової промисловості. Спеціальність «Машини та апарати харчових виробництв»

**Наукова сфера:** енергетика, відновлювальні джерела енергії та енергозбереження.

**Публікації:** більше 55, 4 з них містяться в наукометричній базі Scopus та Web of Science.

**ORCID:** 0000-0001-6879-7501

**Контакти:** +38 (050) 448-32-62

**Information about the author:** associate professor of the Department of Thermal Engineering, and Energy Saving of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», candidate of technical sciences.

**Education:** Kiev Technological Institute of Food Industry. Specialty «Machines, and Devices of Food Production».

**Research area:** energetics, renewable energy, and energy saving.

**Publications:** more than 55; 4 of them are in Scopus and Web of Science journals.

**ORCID:** 0000-0001-6879-7501

**Contacts:** +38 (050)448-32-62



А.С. Пелевін  
A. Pielievin

**Відомості про автора:** магістр кафедри теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Освіта:** Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського». Спеціальність «Теплоенергетика».

**Наукова сфера:** енергетика, відновлювальні джерела енергії та енергозбереження.

**Публікації:** 2.

**Контакти:** +38 (097) 799-02-00

**Information about the author:** associate professor of the Department of Thermal Engineering and Energy Saving of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

**Education:** National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Specialty «Thermal engineering»

**Research area:** energetics, renewable energy, and energy saving.

**Publications:** 2.

**Contacts:** +38 (097) 799-02-00

#### Перелік використаних позначень та скорочень:

$H$  – абсолютна висота ділянки, м;

$L$  – довжина ділянки, м;

$N$  – потужність потоку води на ділянці річки, кВт;

$P$  – потужність ГЕС, кВт;

$Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площа поперечного перерізу русла річки, м<sup>2</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\sin(\alpha)$  – ухил ділянки річки;

$v$  – середня швидкість руху потоку води в річці, м/с;

$\eta$  – ККД гідротурбіни;

$\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час, с.

За останні роки в Україні спостерігається погіршення в забезпеченні органічним паливом енергетичних об'єктів, тому зростає потреба в зменшенні споживання паливно-енергетичних ресурсів та впровадженні відновлювальних джерел енергії.

Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і притоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів. Малі гідроелектростанції ма-

ють невеликі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності. Однак для ефективного використання енергії води малих річок необхідно переко-нати в доцільності встановлення малої ГЕС.

**Метою роботи** є аналіз гідропотенціалу малих річок України та визначення доцільності встановлення ГЕС на малій річці для енергозабезпечення місцевості.

Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок (головним чином у західних регіонах), що складає майже 28% загального гід-

ропотенціалу всіх річок України [1]. Поліська гідрологічна зона басейну Дніпра є одним із регіонів України зі сприятливими умовами для розвитку гідроенергетики.

Для розрахунку величини валових теоретичних гідроенергоресурсів використані два методи: метод лінійного (поділянкового) обліку – для річок, на яких здійснюються спостереження за стоком у межах створів гідрологічних постів; метод Григор'єва – для всіх річок.

За методом лінійного обліку потенційна потужність річки визначається додаванням потужностей розрахункових ділянок, які виділяються у межах найвигідніших для гідроенергетичного освоєння створів. Потужність ділянки річки визначається за формулою [2]:

$$N = 9,81 \left( \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) (H_1 - H_2),$$

де  $N$  – потужність, кВт;  $Q_1$  і  $Q_2$  – витрати води на початку і на кінці ділянки, м<sup>3</sup>/с;  $H_1$  і  $H_2$  – абсолютна висота початку і кінця ділянки, м.

Складність оцінки полягає в тому, що не для всіх річок поліської гідрологічної зони басейну

Дніпра, можна застосувати цей метод, оскільки на багатьох річках не вибрані створи гідрометричних постів, що встановлюються для невивчених річок в результаті великого обсягу польових та експедиційних досліджень. Саме тому залишається невідомим цілий масив даних. Цей метод є досить точним, але за відсутності деяких даних можна скористатися методом Григор'єва [3].

З метою оцінки потенційної потужності усіх річок регіону, в тому числі й тих, по яких відсутні дані спостережень за стоком, використано метод Григор'єва [3], за яким теоретична потужність водотоку –  $N$  визначається за формулою:

$$N = 9,81 \cdot Q_n \cdot \Sigma H,$$

де  $\Sigma H$  – загальний перепад висоти витoku і гирла річки;  $Q_n$  – використання середньорічної витрати у гирлі.

Перетворення теоретичної потужності у гирлі кожної річки у потенційну здійснено за рекомендаціями [3] на основі коефіцієнта теоретичної потужності річок  $\beta$  (таблиця 1), для чого за даними [2] проаналізовано поздовжні профілі та криві наростання площі басейну річок регіону.

Таблиця 1. Залежність значення  $\beta$  від типу профілю і кривої наростання площі водозбору

Table 1. Dependence of the value  $\beta$  on the type of profile and the growth curve of the water intake area

Типи профілів	Тип басейнів		
	Посилений розвиток верхів'я	Рівномірний розвиток басейну	Посилений розвиток низової частини
Рівноважний профіль (РН)	0,35–0,45	0,2–0,3	0,1–0,15
Рівнинний (Р)	0,65–0,75	0,5	0,25–0,35
Скидовий (С)	0,75–0,85	0,6–0,7	0,7–0,8

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Під час дослідження гідроенергетичного потенціалу річок в Україні, а саме Поліської зони басейну Дніпра, було визначено, що загальна потенційна потужність досліджуваних річок, розрахована методом Григор'єва, складає 125,5 МВт, що обумовлює перспективність розвитку малих ГЕС у цьому регіоні.

Серед малих річок Поліської гідрологічної зони басейну Дніпра обираємо річку Гнилоп'ять, яка розташована в межах Козятинського району Вінницької області та Бердичівського й Житомирського районів Житомирської області. Річка Гнилоп'ять згідно з [4] входить до категорії «Зона будівництва», що означає прийнятні

умови для будівництва малих ГЕС, а саме: долини та водозбори річки не є частиною територій та об'єктів природно-заповідного фонду України. Оскільки у цій місцевості жителі часто зіштовхуються з перебоями електроенергії, таке розташування допоможе прибрати цей негативний фактор і забезпечити село цілорічним стабільним запасом електроенергії. Також це вирішить цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем, адже після встановлення міні ГЕС з'являється можливість розвинути фермерське виробництво, тим самим дати нові робочі місця. Надлишок електроенергії, яка буде вироблятися на міні ГЕС, продаватиметься у мережу за зеленим тарифом.

Таблиця 2. Теоретична та потенційна потужність річок регіону за методом Григорьєва

Table 2. Theoretical and potential power of the rivers of the region by the Hrygoriev method

№ п/п	Річка	Довжина, км	Перепад висоти, м	Норма стоку у гирлі, м <sup>3</sup> /с	Теоретична потужність у гирлі, кВт	Тип профілю	$\beta$	Потенційна потужність у гирлі, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тетерів	352	145	14,9	21194	P	0,7	14836
2	Прип'ять	124	15	12,5	1839	P	0,7	1288
3	Вижівка	81	29	2,58	734	P	0,5	367
4	Турія	148	44	4,16	1796	P	0,5	898
5	Стохід	143	29	11,8	3357	P	0,5	1678
6	Стир	465	87	31,1	26543	P	0,5	13271
7	Іква	155	82	3,3	2655	P	0,5	1327
8	Горинь	620	163	25,1	40136	P	0,7	28095
9	Случ	451	154	26,5	4004	P	0,7	28024
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Хомора	114	74	2,51	18224	P	0,5	911
11	Тня	70	38	3,48	12974	C	0,65	843
12	Смілька	65	32	2,08	653	P	0,5	326
13	Уборть	132	48	7,83	3687	P	0,5	1843
14	Уж	242	112	4,2	4615	C	0,75	3461
15	Жерев	96	60	2,63	1548	P	0,3	464
16	Норин	79	13	4,39	560	P	0,5	280
17	Івотка	76	43	5,2	2193	P	0,5	1097
18	Убідь	106	47	5,2	2398	P	0,5	1199
19	Сейм	242	16	96,8	15194	P	0,7	10636
20	Здвиж	145	80	1,34	1052	P	0,5	526
21	Клевень	89	54	8,6	4556	P	0,5	2278
22	Есмань	50	48	1,34	631	P	0,7	442
23	Снов	133	9	29,2	2578	P	0,5	1289
24	Гнилоп'ять	90	75	3,7	2722	P	0,5	1361
25	Ірша	136	95	7,83	7297	P	0,5	3649
26	Ірпінь	162	104	7,19	7335	P	0,7	5135
<b>Загальний гідропотенціал зони</b>					<b>198427</b>			<b>125524</b>

Для вибору місця для встановлення станції необхідно побудувати її профіль рельєфу за допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про. Підхід до побудови вертикального профілю ділянки малої річки ґрунтується на можливостях програмного забезпечення [5] визначати автоматично рельєф місцевості в заданій площині. В даному випадку задаються параметри площини і в перерізі місцевості будуть відображатися всі точки, відповідно до дозвільної здатності розпізнавання електронної карти, сукупність яких є рельєфом дослідної мі-

сцевості в заданій площині. Якщо площину розмістити перпендикулярно руслу навіть неширокої річки, то висота русла над рівнем моря визначається однозначно з похибкою дозвільної здатності карти.

Визначивши таким чином параметри русла для ряду точок вздовж річки, можна побудувати потрібний вертикальний профіль. Побудову виконаємо на основі сукупності поперечних профілів рельєфу річки (рис. 1), а параметри русла наведені в таблиці 3. Вертикальний профіль річки Гнилоп'ять побудовано на рисунку 2.

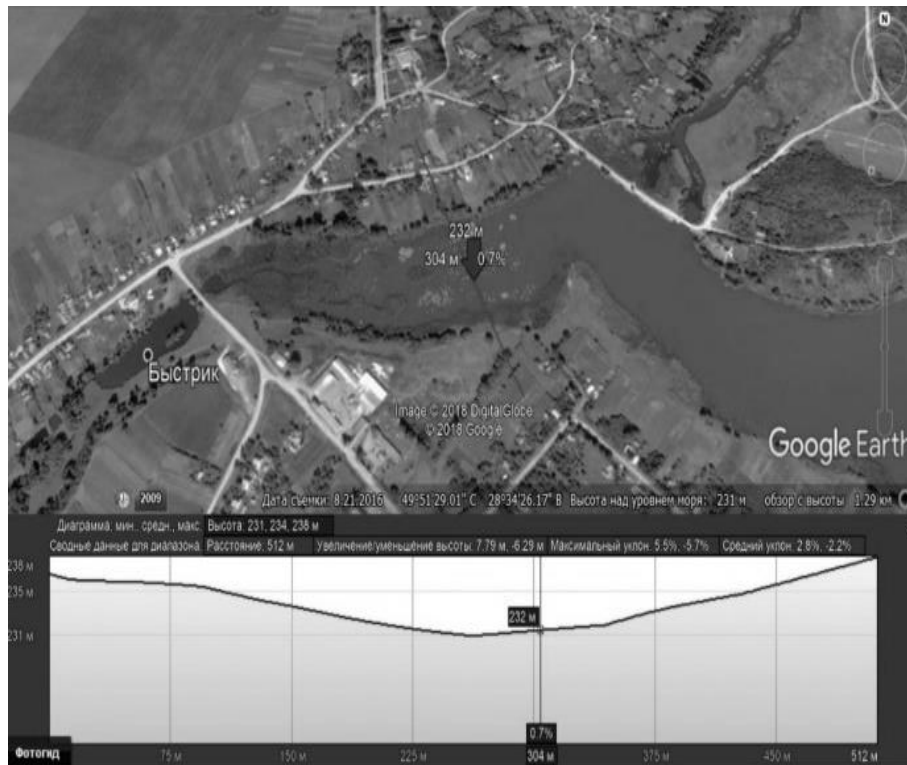


Рис. 1. Рельєф місцевості р. Гнилоп'ять в районі с. Бистрик.

Figure 1. The terrain of the Hnylopiat river in the Bystryk village area.

Таблиця 3. Параметри вертикального профілю річки Гнилоп'ять

Table 3. Parameters of the vertical profile of the Hnylopiat River

№, п/п	Населений пункт	Висота над рівнем моря, м	Довжина річки від гирла, км	Похил річки м/км	Примітки
1	Куманівка	262	99		витік між с. Куманівка і Великий Степ
2	Бродецьке	255	85,3	0,511	притока Бродянка
3	Вовчинець	251	76,7	0,465	
4	Поличинці	248	72,9	0,789	
5	Кикишівка	240	64,7	0,976	
6	Бистрик	232	56,4	0,964	притока р. Глибока Долина
7	Бердичів	228	51,7	0,851	притока р. Терехова
8	Скрагалівка	224	47,1	0,870	
9	Райки	221	43,4	0,811	притока р. Гнилоп'ятка
10	Швайківка	219	40,6	0,714	
11	Слободище	215	35,9	0,851	
12	Рудня-Городище	212	32,2	0,811	притока р. П'ятка
13	Троянів	207	26,7	0,909	притока р. Гриньківка
14	Залізня	200	19,3	0,946	притока р. Руда Кам'янка
15	Головенка	193	11,9	0,946	
16	Тетеревка	187	0	0,504	впадає у р. Тетерів

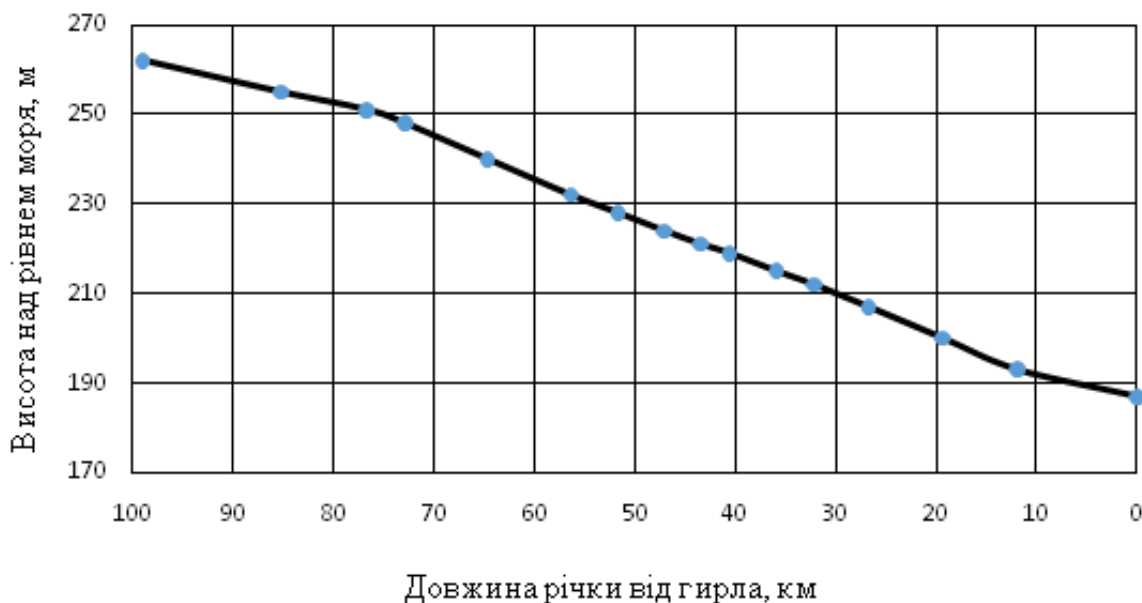


Рис. 2. Вертикальний профіль річки Гнилоп'ять.

Figure 2. Vertical profile of the Hnilopiat River.

Беручи до уваги вертикальний профіль річки, пропонується встановити гідроелектростанцію у селі Бистрик в Бердичівському районі Житомирської області.

На сьогоднішній день, існує велика кількість типів гідравлічних турбін: Каплана, Френсіса, Пелтона, Турго, Банки-Мітчелла та ін. Кожна з цих турбін має свої переваги та недоліки, а також у кожній є своя класифікація в залежності від напору та витрати води.

Після вибору місця розташування станції за графіком застосування гідротурбін (рис. 3) при середній багаторічній витраті води для річки Гнилоп'ять [6]  $Q=3,7 \text{ м}^3/\text{с}$  та напорі  $H=5 \text{ м}$  обираємо гідротурбіну [7].

За графіком застосування (рис. 3) можливе використання гідротурбіни Каплана або Банки.

Поворотно-лопатева турбіна або турбіна Каплана – реактивна турбіна, лопаті якої можуть повертатися навколо своєї осі одночасно, за рахунок чого регулюється її потужність. Також потужність може регулюватися за допомогою лопатей направляючого апарату. Лопаті гідротурбіни

можуть бути розташовані як перпендикулярно її осі, так і під кутом. Ця гідротурбіна використовується при невеликих напорах та витратах води [8].

Турбіна поперечного потоку, турбіна Банки-Мітчелла або турбіна Оссбергера – має відносно низьку швидкохідність, тому більше підходить для місць із низьким напором та невеликою витратою води [8].

Гідротурбіна Каплана має вищий ККД порівняно з турбіною Банки.

Серед виробників гідротурбін можна виділити вітчизняні та імпорتنі компанії: АТ «Київенергомаш», Сумське НВО ім. Фрунзе, WTW Poland [1], Weswen, Hydro Innovation, American Hydro, Alstom, Dependable Turbine, GE, Litostroj, Voith Siemens. За характеристиками певної річки обирається тип гідротурбіни та обчислюються характеристики поточкових процесів за допомогою спеціальних програм. Завдяки моделюванню можна визначити оптимальний кут нахилу лопатей, тиск на них та розподіл швидкості у робочому елементі.



Рис. 3. Графік застосування гідротурбін.

Figure 3. Graph of the use of hydro turbines.

Для отримання найвищого ККД поворотно-лопатевої гідротурбіни необхідно визначити кут нахилу лопаток для забезпечення оптимального кута атаки. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks проведено моделювання розподілів швидкості та тиску водного потоку на лопаті гідротурбіни Каплана за різних значень кута повороту. При проведенні моделювання руху потоку води були прийняті умови:

- матеріал корпусу гідротурбіни – нержавіюча сталь;
- об'єм потоку води на вході –  $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- тиск навколишнього середовища –  $101325 \text{ Па}$ .

Данні про зміну швидкості потоку у робочому елементі гідроагрегату та тиску на лопаті при кутах повороту:  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ , наведені у таблиці 4 та на рисунку 4.

Швидкість потоку невисока, тому пропонується встановити лопаті більш полого. При такому положенні вода, під час проходження крізь робоче колесо, буде збільшувати тиск на лопаті, а при оптимальному пологому положенні швидкість потоку у роторі також збільшиться.

Таблиця 4. Результати моделювання

Table 4. Modeling results

Кут нахилу лопаток, $^\circ$	Тиск на лопаті, Па	Швидкість потоку у робочому елементі гідротурбіни, м/с
0	102850	0,585
15	102536	0,608
30	102311	0,62
45	102070	0,6
60	101881	0,594
75	101632	0,558
90	101383	0,528

Найбільш оптимальний результат досягається при встановленні лопаток під кутом  $30^\circ$ , у такому випадку маємо більш рівномірний розподіл тиску на лопатях  $102536 \text{ Па}$  та найбільшу швидкість потоку води у робочому елементі гідроагрегату  $0,62 \text{ м/с}$ . Як бачимо дане дослідження дало змогу вибрати оптимальний кут нахилу лопатей, який дозволить збільшити ККД гідротурбіни.

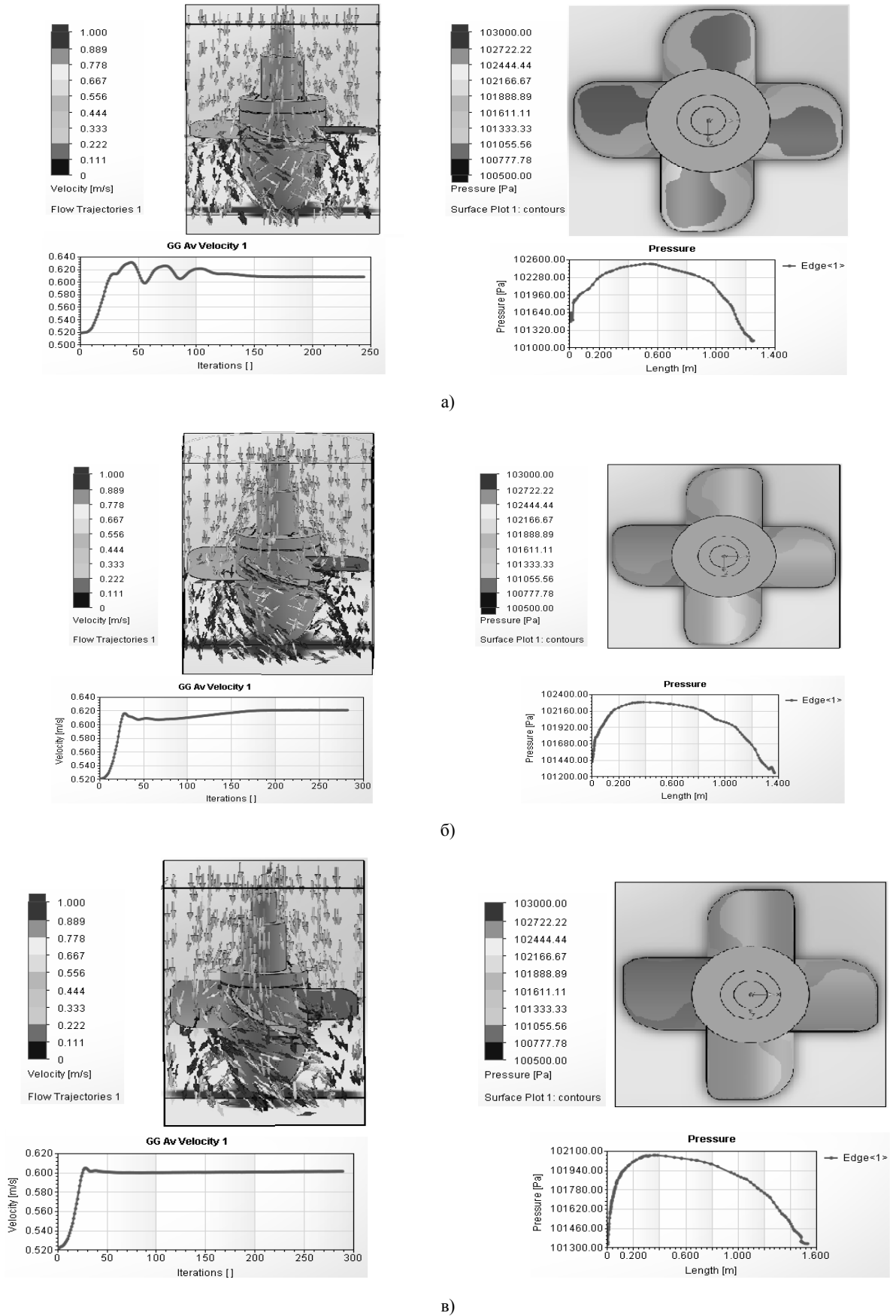


Рис. 4. Розподіл швидкості та тиску на лопаті при різних кутах повороту: а - 15°; б - 30°; в - 45°.

Figure 4. Distribution of velocity and pressure on the blade at different angles of rotation: a - 15°; b - 30°; c - 45°.



Для визначення гідропотенціалу річки Гнилоп'ять на вибраній нами ділянці пропонується застосувати метод «лінійного обліку» [9], при якому кожен річку ділять на ряд ділянок без приток.

Потужність на деякій ділянці річки  $AB$  довжиною  $L$  (рис. 5) з постійними ухилом  $\sin(\alpha)$ , площею поперечного перерізу  $S$ , середньою швидкістю руху потоку води  $v$  за час  $\tau$  визначається за виразом [9]:

$$P = \frac{A}{\tau} = \rho \cdot g \cdot S \cdot L \cdot v \cdot \sin(\alpha).$$

У цьому рівнянні добуток  $S \cdot v = Q$  і є середньою витратою води в річці на ділянці  $AB$ , а добуток  $L \cdot \sin(\alpha) = H$  – падіння річки на цій же ділянці. При густині води  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , прискоренні вільного падіння  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ , середньому багаторічному стоці  $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{с}$  [7] і  $H = 5 \text{ м}$ , отримуємо потужність  $P$ , кВт [9]:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H = 9,81 \cdot 3,7 \cdot 5 = 181,5 \text{ кВт.}$$

Теоретична потужність малої ГЕС на цій ділянці:

$$P_{\text{ГЕС}} = P \cdot \eta,$$

$$P_{\text{ГЕС}} = 181,5 \cdot 0,8 = 145,2 \text{ кВт.}$$

де  $\eta$  – ККД гідротурбіни, який можна взяти в межах 70–90%.

Цей результат мало відрізняється від потужності малої ГЕС, визначеної за графіком, який наведено на рис. 4 – 150 кВт.

Доцільність використання гідропотенціалу певної річки Гнилоп'ять біля с. Бистрик з метою отримання електричної енергії визначалася в програмному забезпечення RETScreen 4, яке призначено для енергетичного, техніко-економічного і екологічного аналізу проектів з використанням чистої енергії [10].

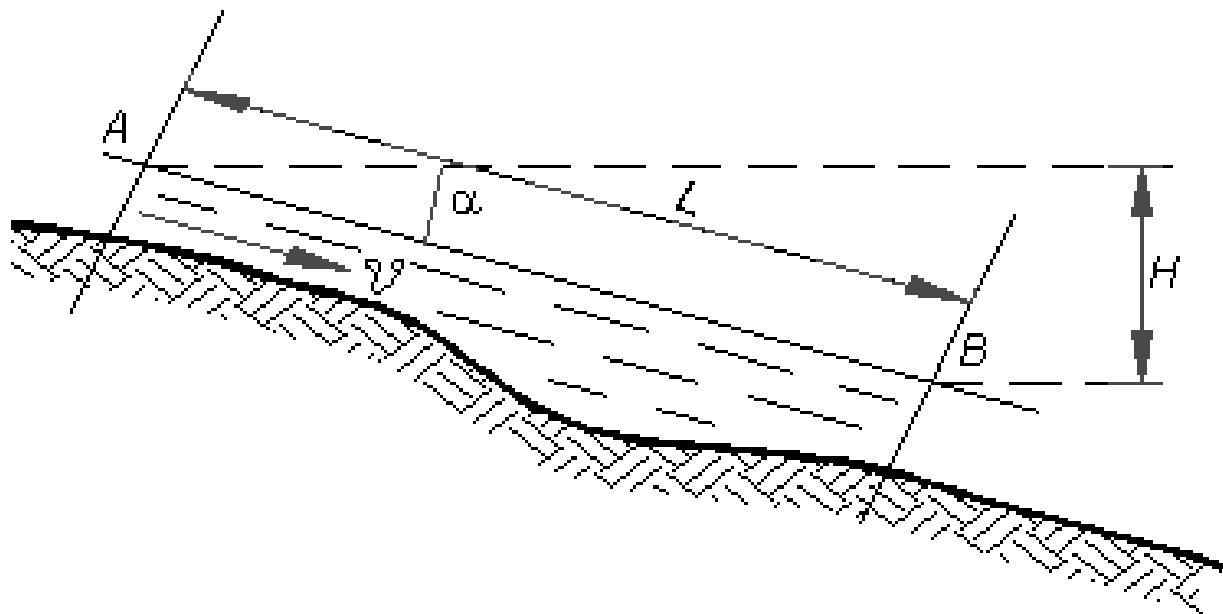


Рис. 5. До розрахунку потужності водного потоку на ділянці річки.

Figure 5. For calculating the capacity of the water stream in the area of the river.

За вихідні дані (рис. 6) прийнято: запропонований проект – руслова; річка – Гнилоп'ять; загальний напір – 5 м; рівень води в нижньому б'єфі – 2 м; середня багаторічна витрата води річки за весь період спостереження –  $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$  [7]; відсоток

часу, коли є стійкий стік, – 90% [11]; розрахунковий потік гідротурбіни –  $4 \text{ м}^3/\text{с}$  [11]; тип гідротурбіни – Каплана; розрахунковий коефіцієнт – 4,5 згідно з [12]; максимальний ККД турбіни – 84,9%.

Для розрахунку електричної потужності було прийнято: значення нормованого потоку в залежності від водності року [13]; максимальні гідравлічні втрати – 7% [12]; інші втрати – 1%; ККД генератора – 97%; можливість використання – 95%; поправочний коефіцієнт доступного потоку – 1.

За допомогою програми у відповідності до вихідних даних та графіку застосування гідротурбіни [6] було обрано гідротурбіну типу Каплан потужністю 148 кВт, визначено річне виробництво електроенергії 1167 МВт·год.

Отримано значний екологічний ефект: щорічне скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 438,1 т у порів-

нянні з отриманням електроенергії при спалюванні природного газу.

Фінансовий аналіз показав доцільність проекту: повернення капіталу через 1,5 року, а простий строк окупності проекту становить 1,7 року при рівні інфляції 12% (рис. 7).

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розробки конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для оснащення малих ГЕС вітчизняним обладнанням [1].

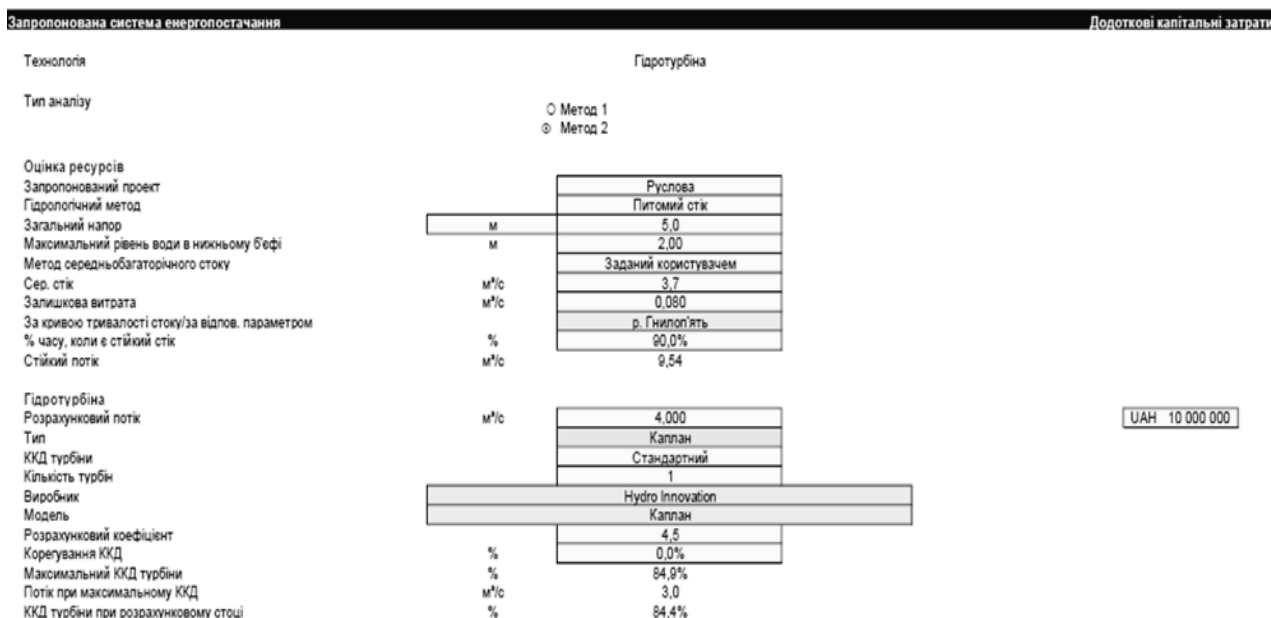


Рис. 6. Енергетична модель RETScreen 4 - Проект Електростанції.

Figure 6. RETScreen 4 Energy Model - Power Plant Project.

## Фінансовий аналіз

<b>Фінансові показники</b>			
Темп інфляції	%	12,0%	
Строк реалізації проекту	рік	5	
Коефіцієнт заборгованості	%		
<b>Початкові затрати</b>			
Енергосистема	UAH	10 000 000	100,0%
Інше	UAH		0,0%
<b>Загальні початкові затрати</b>	<b>UAH</b>	<b>10 000 000</b>	<b>100,0%</b>
<b>Стимулювання і гранти</b>			
	UAH		0,0%
<b>Щорічні затрати і виплата займового капіталу</b>			
Затрати на експлуатацію і обслуговування (економія)	UAH	1 000 000	
Вартість палива - Запропонований випадок	UAH	0	
<b>Сумарні щорічні затрати</b>	<b>UAH</b>	<b>1 000 000</b>	
<b>Щорічна економія і дохід</b>			
Вартість палива - Базовий випадок	UAH	0	
Прибуток від експорту електроенергії	UAH	6 716 698	
<b>Сумарна щорічна економія і дохід</b>	<b>UAH</b>	<b>6 716 698</b>	
<b>Економічна доцільність</b>			
BNP до виплати податків - активи	%	67,5%	
Простий строк окупності	рік	1,7	
Повернення капіталу	рік	1,5	

Графік сукупного потоку грошових коштів

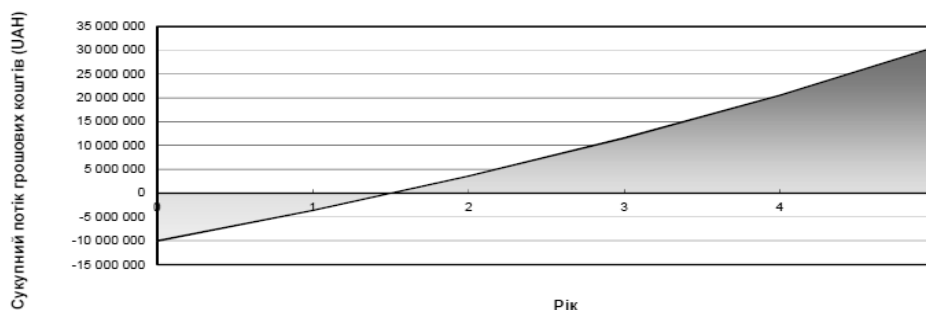


Рис. 7. Фінансовий аналіз проекту міні ГЕС.

Figure 7. Financial analysis of the project of mini hydroelectric power station.

**Висновки.** 1. Визначено гідроенергетичний потенціал малих рік Поліської зони басейну Дніпра.

2. Побудовано вертикальний профіль річки Гнилоп'ять за допомогою програмного забезпечення Google Планета Земля Про, що дозволило обрати місце встановлення малої гідроелектростанції біля села Бистрик, в Бердичівському районі Житомирської області.

3. За графіком застосування гідротурбіни при витраті води  $3,7 \text{ м}^3/\text{с}$  і напорі 5 м було обрано турбіну Каплана.

4. На основі оцінки гідропотенціалу р. Гнилоп'ять на вибраній ділянці теоретична потужність ГЕС склала 145,2 кВт.

5. В програмному забезпеченні SolidWorks встановлено: оптимальний кут нахилу лопатей гідротурбіни Каплана –  $30^\circ$ ; швидкість потоку у робочому елементі –  $0,62 \text{ м/с}$ ; тиск на лопаті – 102311 Па.

6. Розрахована мала ГЕС з гідротурбіною Каплана потужністю 148 кВт у програмному продукті RETScreen 4. Річний виробіток електроенергії склав 1167 МВт·год; щорічне скорочення викидів парникових газів – 438,1 т  $\text{CO}_2$  та термін окупності – 1,7 роки.

7. Результати цієї роботи показали доцільність впровадження малих гідроелектростанцій для покращення електропостачання віддалених районів і населених пунктів та зміцнення економічних та екологічних показників країни в цілому.

1. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. – Алматы, 2016. – 36 с.

2. Гинко С.С. Основы гидротехники / С.С.Гинко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 368 с.

3. Золотарев Т.Л. Гидроэнергетика / Т.Л.Золотарев. – Ч.І Основы использования гидравлической энергии: учебное пособие для высших технических учебных заведений. – М. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. – 196 с.

4. Бабич М.І. Особливості ідентифікації конфігурації проектів каскаду малих дериваційних гідроелектростанцій в умовах стохастичного середовища / О.В. Сидорчук. В.М. Боярчук, М.І. Бабич. А.В. Тагомир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. – № 43, Т. 1. – С. 40 – 42.

5. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.14.08 / А.В. Мороз. – Київ, 2015. – 20 с.

6. Обухов С.Г. Микрогидроэлектростанции // Томский политехнический университет. –Т, 2009 – 63 с.

7. Малі річки України: Довід. / За ред. А.В.Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

8. Барлит, В.В. Гидравлические турбины: учеб. пособие / В.В. Барлит – Киев: Вища школа, 1977. – 360 с.

9. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. – М.: РГОТУПС, 2006 – 104 с.

10. Ressources naturelles Canada [Електронний ресурс]: RETScreen. Режим доступу: <http://www.nrcan.gc.ca>.

11. Retscreen Engineering & Cases Textbook. Small hydro project analysis chapter /Minister of Natural - Resources Canada 2001 – 2004, – 50 art.

12. RETScreen Software Online User Manual. Small Hydro Project Model /Resources Canada 2001 - 2004, – 109 art.

13. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.6. Украина и Молдавия. – Вып. 2 Среднее и нижнее Поднепровье. – Описание отдельных рек и водохранилищ бассейна р. Днепр / Под ред. М.С.КАГАНЕРА – Л.: ГИМИЗ, 1970. – 520 с.

#### ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦЬЛЬНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ МАЛИХ ГЕС НА РІЧЦІ ГНІЛОП'ЯТЬ БАСЕЙНУ ДНІПРА

**В.В. Дубровська**, кандидат технічних наук, доцент,

**В.І. Шкляр**, кандидат технічних наук, доцент,

**А.С. Пелєвін**, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Інститут енергозбереження та енергоменеджменту.

*Визначено гідроенергетичний потенціал малих річок Поліської гідрологічної зони басейну Дніпра за методом Григор'єва. Побудовано вертикальний профіль річки Гнілоп'ять у програмному забезпеченні «Google Планета Земля Про» з визначенням місця встановлення малої гідроелектростанції. Визначено оптимальний кут повороту лопаток робочого колеса гідротурбіни Каплана та розрахована мала ГЕС з даною турбіною потужністю 148 кВт з використанням програмних продуктів SolidWorks та RETScreen 4. Виробництво річної електроенергії склало 1167 МВт·год з чистим щорічним скороченням викидів парникових газів 438,1 т CO<sub>2</sub> та терміном окупності 1,7 роки. Бібл. 13, табл. 4, рис. 7.*

**Ключові слова:** гідроенергетичний потенціал, мала річка, гідротурбіна, програмне забезпечення, швидкість потоку, мала ГЕС.

#### REFERENCES

1. Current state and prospects of development of small hydropower in CIS countries. – Almaty, 2016. – 36 p.

2. Ginko S.S. Fundamentals of Hydrotechnics / S.S. Ginko. – L. : Gidrometeoizdat, 1976. – 368 p.

3. Zolotarev T.L. Hydroenergetics / T.L. Zolotarev. - Ch.I Fundamentals of the use of hydraulic energy: a training manual for higher technical educational institutions. – M. – L. : Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo, 1950. – 196 p.

4. Babich M.I. Features of the identification of the configuration of the projects of the cascade of small derivative hydroelectric power stations under conditions of a stochastic environment / O.V. Sidorchuk V.M. Boyarchuk, M.I. Babich A.V. Tatomyr // Vostochno-Europejskij zhurnal peredovyh tehnologij. 2010. – No. 43, T. 1. – P. 40 – 42.

5. Technical potential of hydropower resources of small rivers of Ukraine: author's abstract. dis Cand. tech Sciences: 05.14.08 / A.V. Frost. – Kyiv, 2015. – 20 p.

6. Obukhov S.G. Microhydro power plants // Tomskiy politehnicheskij universitet. –Т, 2009. – 63 p.

7. Small rivers of Ukraine: Reference. / Ed. A.V. Yatsika – K.: Urozhaj, 1991. – 296 pp.

8. Barlit, V.V. Hydraulic turbines: training. manual / V.V. Barlita – Kiev: Visha shkola, 1977. – 360 p.

9. Sokolsky A.K. Unconventional and renewable energy sources. Tutorial. – Moscow: RGOTUPS, 2006. – 104 p.

10. Ressources naturelles Canada [Електронний ресурс]: RETScreen. Режим доступу: <http://www.nrcan.gc.ca>.

11. Retscreen Engineering & Cases Textbook. Small hydro project analysis chapter /Minister of Natural – Resources Canada 2001 – 2004. – 50 art.

12. RETScreen Software Online User Manual. Small Hydro Project Model /Resources Canada 2001 – 2004. – 109 art.

13. Resources of surface waters of the USSR. – Т.6. Ukraine and Moldavia. – Extract 2 Middle and lower Dnieper. – Descriptions of individual rivers and reservoirs in the Dnipro river basin / Ed. MS KAGANERA – L.: GIMIZ, 1970. – 520 p.

#### SYNOPSIS

The deterioration of Ukraine's supply of energy resources, and the growth of its value increases the interest in the use of renewable energy sources. Small hydropower engineering is the most developed of all non-traditional energy sources, and it allows the use of a large hydropower potential of small rivers and streams with the help of micro- and small hydroelectric power stations.

In this paper, the estimation of the hydropower potential of the rivers of the Polissian hydrological zone of the Dnipro basin is carried out. Among the small rivers, we choose the Hnylopiat river, which is located within the Vinnytsia and Zhytomyr regions. The river is part of the «Construction Zone» category, which means acceptable conditions for the construction of small hydroelectric power stations, and it is not a part of the nature reserve fund of Ukraine.

Using Google Earth Pro software, transverse relief profiles of the Hnylopiat River were built, which made it possible to build its vertical profile and determine the location of the HPP - Bystryk village. The depth of the river in this place is 5 meters, and the average perennial water consumption is 3.7 m<sup>3</sup>/s, therefore a Kaplan type hydraulic turbine was chosen.

Using SolidWorks software, a Kaplan's turbine impeller model was built. This allowed determining the distribution of speed and pressure on the blade in the hydraulic turbine's workpiece when the rotation angle is changed. At an optimum angle of rotation of 30, an even distribution of pressure on the blade of 102536 Pa is ensured, and the maximum flow rate of the water in the hydraulic unit operating element is 0.62 m/s.

To determine the hydropotentials of the Hnylopiat river, the method of «linear (section) metering» was used, which allowed determining the capacity of the Kaplan hydraulic turbine, which was 145.2 kW.

The expediency of establishing a small hydroelectric power station on the Hnylopiat river near the Bystryk village with the Kaplan hydro turbine has been proven with the help of RET-Screen 4 software. Annual electricity generation is estimated at 1167 MWh, the annual reduction of CO<sub>2</sub> emissions by 438.1 tons will be achieved; comparing to electricity generation from natural gas combustion, the payback period will be 1.5 years, and the simple payback period of the project is 1.7 years at an inflation rate of 12%.

#### РЕФЕРАТ

Погіршення забезпечення України енергетичними ресурсами та зростання їхньої вартості підвищує зацікавленість до застосування відновлювальних джерел енергії. Мала гідроенергетика є найбільш освоєною з нетрадиційних джерел енергії і дозволяє використовувати великий гідроенергетичний потенціал невеликих річок та водотоків

за допомогою мікро- та малих гідроелектростанцій.

В роботі проведена оцінка гідроенергетичного потенціалу річок Поліської гідрологічної зони басейну Дніпра. Серед малих річок обираємо річку Гнилоп'ять, яка розташована в межах Вінницької та Житомирської областей. Річка входить до категорії «Зона будівництва», що означає прийнятні умови для будівництва малих ГЕС і що вона не є частиною природно-заповідного фонду України.

За допомогою програмного забезпечення «Google Планета Земля Про» побудовані поперечні профілі рельєфу річки Гнилоп'ять, що дало змогу побудувати її вертикальний профіль та визначити місце розташування ГЕС – село Бистрик. Глибина річки в цьому місці становить 5 метрів, а середня багаторічна витрата води – 3,7 м<sup>3</sup>/с, тому була обрана гідравлічна турбіна типу Каплан.

У програмному забезпечення SolidWorks побудована модель робочого колеса турбіни Каплан та отримано розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута повороту. При оптимальному куті повороту у 30° забезпечується рівномірний розподіл тиску на лопаті 102536 Па та найбільша швидкість потоку води у робочому елементі гідроагрегату – 0,62 м/с.

Для визначення гідропотенціалу річки Гнилоп'ять був використаний метод «лінійного (поділянкового) обліку», що дозволило визначити потужність гідравлічної турбіни Каплана, яка склала 145,2 кВт.

Доцільність встановлення малої ГЕС на річці Гнилоп'ять біля с. Бистрик з гідротурбіною Каплана була доведена за допомогою програмного продукту RETScreen 4. Річне виробництво електроенергії буде складати 1167 МВт·год, щорічне скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 438,1 т у порівнянні з отриманням електроенергії при спалюванні природного газу, повернення капіталу через 1,5 року, а простий строк окупності проекту становить 1,7 року при рівні інфляції 12%.

Стаття надійшла до редакції 17.06.18

Остаточна версія 06.08.18