

УДК 621.311.21.001.2

А.В.Мороз, канд.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Математична імовірнісна модель визначення технічного потенціалу малих річок

Розроблено математичну імовірнісну модель визначення технічного потенціалу малих річок, яка враховує природоохоронні обмеження на використання води та критерії екологічної цінності територій. Бібл. 8, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: гідроенергетика, екологія, електроенергія, потенціал, потужність, стік річки.

ORCID: 0000-0002-9284-3624

Вступ. Частка відновлюваних джерел енергії у загальному світовому енергоспоживанні становить біля 14%, а в електроспоживанні – 19%. Частка ВДЕ в загальному енергозабезпеченні України складає на сьогодні лише біля 3%, а в електрозабезпеченні – 6%, переважно за рахунок великої гідроенергетики, потенціал якої практично вже використаний.

Згідно з Рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-ЕнС України взяла на себе зобов'язання до 2020 року досягти рівня 11 відсотків енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальній структурі енергопостачання країни.

Сектор малої гідроенергетики відіграє важливу роль у досягненні цілей, визначених Європейським Співтовариством. Станом на 2015 рік в Україні діяло 102 малих ГЕС із загальною встановленою потужністю 80 МВт та річним виробітком 251 млн кВт·год. Вже станом на 01 грудня 2016 р. Реєстр об'єктів електроенергетики альтернативної енергетики Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, містить 135 малих ГЕС.

Потенційні можливості малої гідроенергетики в Україні на найближчу перспективу на період до 2030 року оцінені в Енергетичній стратегії на рівні 1147 МВт потужності з річним обсягом виробництва електроенергії 3,75 млрд кВт·год/рік. В чинній редакції Енергетичної стратегії (схвалена КМ України 24 липня 2013 р. №1071-р) зазначено, що економічно доцільний потенціал малих

гідроелектростанцій (ГЕС) в Україні становить до 4 ГВт. Спеціалізовані організації з відновлення малих ГЕС прогнозують наявність потенціалу малої гідроенергетики біля 8,2 млрд кВт·год/рік. Значна розбіжність у кількісних показниках зумовлена проведенням лише експертної оцінки без виконання наукових досліджень на основі наявних гідроенергетичних досліджень.

Проте необхідно зазначити, що повномасштабне уточнення гідроенергетичного потенціалу малих річок на території сучасної України після 1960 року не проводилось [1]. За останні роки суттєво змінилась нормативно-правова база малої гідроенергетики України. Разом із природоохоронними вимогами змінилась і встановлена величина максимальної потужності малої ГЕС, яка з 2012 року складає 10 МВт (до 2009 року було 30 МВт).

Тому визначення технічного потенціалу гідроресурсів малих річок України з урахуванням вимог сучасної нормативно-правової бази відновлюваної енергетики та охорони навколишнього природного середовища є важливою задачею для сучасних наукових досліджень.

Постановка завдання. Мета даної публікації полягає в розробленні нової математичної моделі визначення технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок. Модель, на відміну від існуючих, повинна враховувати критерії екологічної цінності територій та імовірнісний розподіл витрат стоку, що дозволяє врахувати природоохоронні обмеження на використання води для виробництва електроенергії.

Розрахункові дослідження. Дослідження ґрунтується на основних теоретичних положеннях гідроенергетики [2] з використанням значень витрат стоку та перепаду висот ділянки річки. Перепад висот вертикального профілю річки визначається на основі цифрових топографічних карт геоінформаційної системи [3], а гідрологічні параметри стоку – згідно останнього узагальнен-

ня результатів спостережень [4].

Розподілимо вертикальний профіль річки [5] на M ділянок з наступною нумерацією відносно витoku: $j = 1, 2, 3, \dots, M$. Поточну координату протяжності на ділянці, довжину ділянки, перепад висот та середнє значення витрат стоку на ділянці позначимо відповідно як l_j , L_j , H_j та Q_j (рис. 1).

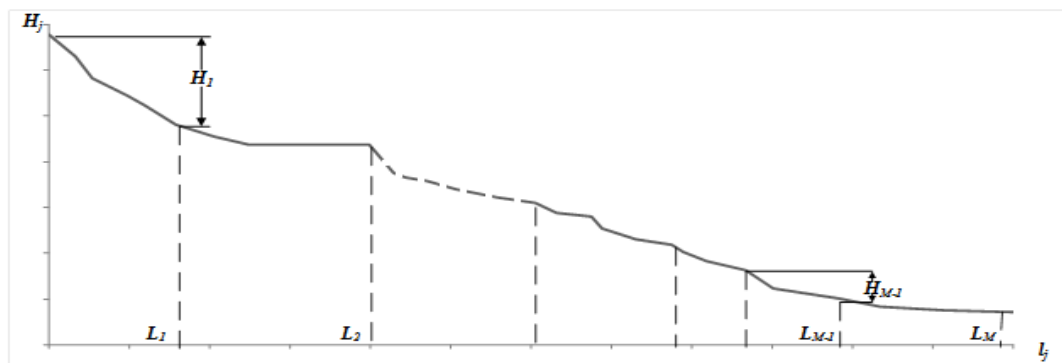


Рис. 1. Позначення координат вертикального профілю річки.

Прийняті природоохоронні обмеження на використання гідроенергетичного ресурсу річки відповідають положенням чинної нормативно-правової бази в електроенергетичній та природоохоронній сферах [6]. Природоохоронні обмеження приведені до двох типів, а саме обмежень на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС та обмежень на використання території для її спорудження.

Введемо в подальший аналіз кількісні значення критеріїв екологічної цінності території, позначивши їх на j -ій ділянці річки як k_{ej} . Якщо на визначеній ділянці річки можливе будівництво малої ГЕС, то надаємо величині k_{ej} значення 1, а якщо будівництво неможливе – то величина k_{ej} дорівнює 0:

$$k_{ej} = 1 - \text{будівництво ГЕС дозволено}, \quad (1)$$

$$k_{ej} = 0 - \text{будівництво ГЕС заборонено}.$$

Аналогічним чином будемо враховувати і заборону будівництва ГЕС на ділянках річки з малим нахилом, щоб убезпечити територію від значних затоплень. Для цього введемо в аналіз також критерій нахилу вертикального профілю j -ої ділянки річки як k_{Hj} , кількісні значення якого визначаються як:

$$k_{Hj} = 1 - \text{будівництво ГЕС дозволено}, \quad (2)$$

$$k_{Hj} = 0 - \text{будівництво ГЕС заборонено}.$$

При визначенні технічного потенціалу необхідно врахувати і втрати на перетворення енергії водотоку в електричну енергію, для чого використаємо поняття коефіцієнта корисної дії η_j . Подальший аналіз будемо виконувати за припущення, що значення η_j однакове для всієї протяжності річки, тобто:

$$\eta_j = \eta = \text{const}. \quad (3)$$

Середнє значення витрат стоку на ділянці Q_j визначимо шляхом інтегрування змінної величини витрат уздовж протяжності ділянки наступним чином:

$$Q_j = \frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_j dl_j, \quad (4)$$

де l_{jn} , l_{jk} – значення координати початку та кінця j -ої ділянки річки.

Для урахування екологічних обмежень на використання витрат води для виробництва електроенергії використаємо функцію диференційної щільності імовірнісного розподілу стоку річки [7]. Застосування імовірнісного розподілу дає можливість урахування витрат санітарного попуску, безперервної дії рибоходів та пропуску води в повеневий період наступним чином:

$$\bar{Q}_j = \int_{Q_{j\min}}^{Q_{j\max}} Q'_j f(Q'_j) dQ'_j, \quad Q_{j\max} > Q'_j > Q_{j\min}, \quad (5)$$

де $Q_{j\min}, Q_{j\max}$ – мінімальне та максимальне значення витрат води для виробництва електроенергії; Q'_j – витрати води за результатами строкових спостережень на j -ій ділянці річки [1, 8]; $f(Q'_j)$ – диференційна щільність річного імовірного розподілу витрат води [7].

Тепер, ґрунтуючись на вихідному теоретичному положенні визначення потужності водотоку та введених вище положень, можна записати потужність ділянки річки з урахуванням обмежень на використання стоку води наступним чином:

$$N_j = gH_j \int_{Q_{j\min}}^{Q_{j\max}} \left[\frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_{lj} dl_j \right] f(Q'_j) dQ'_j. \quad (6)$$

Визначення технічного потенціалу гідроенергетичного ресурсу всієї річки з урахуванням критеріїв екологічної цінності території кожної ділянки та обмежень на використання води запишемо як суму складових впродовж течії:

$$E = gT\eta \sum_{j=1}^M \left[k_{ej} \cdot k_{Hj} \cdot H_j \int_{Q_{j\min}}^{Q_{j\max}} \left(\frac{1}{L_j} \int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q'_{lj} dl_j \right) f(Q'_j) dQ'_j \right] \quad (7)$$

$$\text{за } Q_{j\max} > Q'_j > Q_{j\min};$$

$$k_{ej} = 1 \text{ або } 0; k_{Hj} = 1 \text{ або } 0. \quad (8)$$

Отримана математична модель та рекомендована лінеаризація функції $p(k_p)$ [7] може бути застосована для визначення технічного потенціалу створу малої річки за припущень $k_{ej} = 1$;

$k_{Hj} = 1$. Технічний гідроенергетичний потенціал створу малої річки може бути реалізований шляхом будівництва малої ГЕС із різною кількістю агрегатів. Зазвичай до складу малої станції входить 1, 2 або 3 агрегати однакової потужності. Значення номінальної потужності станції відповідає вибраному рівню забезпеченості витрат стоку $p_Q(\%)$ та відповідній величині k_p :

$$N_p = 9,81 \cdot \eta \cdot Q_{cp} \cdot k_p \cdot H \quad (\text{кВт}), \quad (9)$$

де H – напір ГЕС, м; η – коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати на перетворення енергії на малих ГЕС; Q_{cp} – м³/с.

За приклад розглянемо отримання формули розрахунку обсягу виробництва для станції у складі 3-х однакових агрегатів з урахуванням природоохоронних обмежень, функціонування станції по водотоку та лінеаризації функції $p(k_p)$. Передбачається, що значення η , H , T , Q_{cp} , k_{p1} , k_{p2} відомі, а k_p відповідає прийнятому значенню розрахункової забезпеченості p_Q . Значення p_1 , p_2 дорівнюють 90% та 10% відповідно. Оскільки у складі станції є декілька агрегатів, то тривалість роботи станції залежить від забезпеченості стоку (рис. 2).

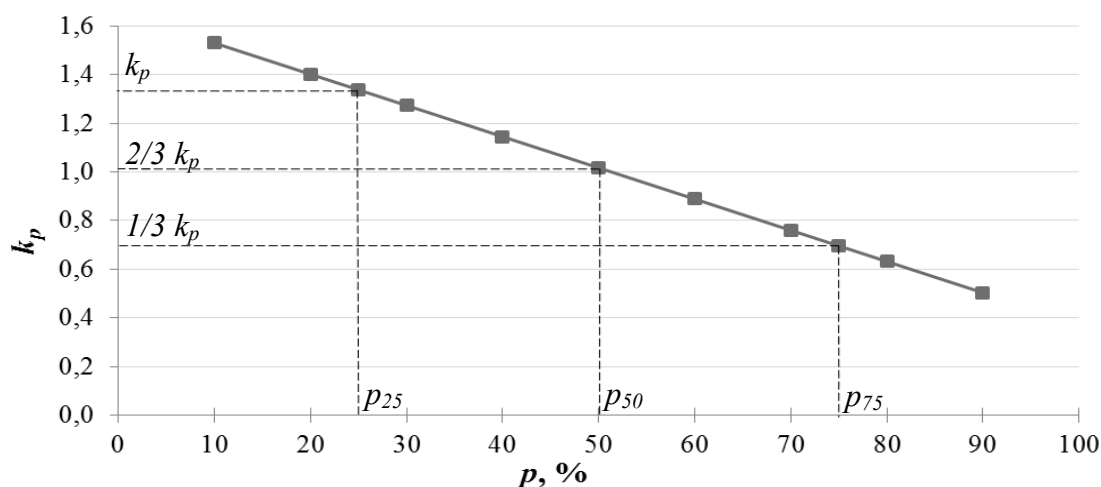


Рис. 2. Залежність модульного коефіцієнта k_p від забезпеченості p .

Розглянемо роботу станції за різної кількості агрегатів.

За малого обсягу води Q_1 на станції працює лише 1 агрегат із забезпеченістю стоку p_{Q_1} (%):

$$Q_1 = \frac{1}{3} Q_{cp} \cdot k_p; \quad (10)$$

$$p_{Q_1} = \frac{p_2 - p_1}{k_{p2} - k_{p1}} k_p \cdot \frac{1}{3} + \frac{p_1 \cdot k_{p2} - p_2 \cdot k_{p1}}{k_{p2} - k_{p1}} = \frac{-80}{k_{p2} - k_{p1}} k_p \cdot \frac{1}{3} + \frac{90 \cdot k_{p2} - 10 \cdot k_{p1}}{k_{p2} - k_{p1}}. \quad (11)$$

При збільшенні обсягу води до Q_2 вмикається другий агрегат, який використовує стік із забезпеченістю p_{Q_2} (%):

$$Q_2 = \frac{2}{3} Q_{cp} \cdot k_p; \quad (12)$$

$$p_{Q_2} = \frac{-80}{k_{p2} - k_{p1}} k_p \cdot \frac{2}{3} + \frac{90 \cdot k_{p2} - 10 \cdot k_{p1}}{k_{p2} - k_{p1}}. \quad (13)$$

Під час великої води з витратою Q_3 вмикається 3-й агрегат, забезпеченість стоку при цьому p_{Q_3} :

$$Q_3 = Q_{cp} \cdot k_p; \quad (14)$$

$$p_{Q_3} = \frac{-80}{k_{p2} - k_{p1}} k_p + \frac{90 \cdot k_{p2} - 10 \cdot k_{p1}}{k_{p2} - k_{p1}}. \quad (15)$$

З урахуванням природоохоронних вимог та значень рівнів забезпеченості стоку введемо умову:

$$10\% \leq p_{Q_1}, p_{Q_2}, p_{Q_3} \leq 90\%. \quad (16)$$

Якщо умова не виконується, то розрахункова забезпеченість дорівнює значенню найближчої межі. Наприклад, якщо $p_{Q_1} = 98\%$, то для розрахунку використовується $p_{Q_1} = 90\%$.

Сумарну забезпеченість роботи всіх трьох агрегатів однакової потужності p_{3a} можна виразити наступним чином:

$$p_{3a} = (p_{Q_1} - p_2) + (p_{Q_2} - p_2) + (p_{Q_3} - p_2) = (p_{Q_1} - 10) + (p_{Q_2} - 10) + (p_{Q_3} - 10) \quad (17)$$

Обсяг виробленої енергії E малою ГЕС у складі 3-х однакових агрегатів за річний проміжок часу T згідно математичної моделі буде дорівнювати:

$$E = \frac{N_p \cdot T \cdot p_{3a}}{3 \cdot 10^5} = \frac{9,81 \cdot \eta \cdot Q_{cp} \cdot k_p \cdot H \cdot T}{3 \cdot 10^5} (p_{Q_1} + p_{Q_2} + p_{Q_3} - 30). \quad (18)$$

На основі вищевикладеного розрахунку запишемо узагальнену формулу для розрахунку енергії станції з різною кількістю агрегатів однакової потужності:

$$E = \frac{N_p \cdot T}{n \cdot 10^5} (p_Q + p_{Q_{\frac{n-1}{n}}} + p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} - n \cdot p_2), \quad (19)$$

$$\text{за умов: } 10\% \leq p_Q, p_{Q_{\frac{n-1}{n}}}, p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} \leq 90\%, \quad (20)$$

$$\frac{n-1}{n}, \frac{n-2}{n} > 0,$$

де n – кількість встановлених агрегатів на станції; $p_Q, p_{Q_{\frac{n-1}{n}}}, p_{Q_{\frac{n-2}{n}}}$ – значення забезпеченості кожного режиму експлуатації.

Являє також інтерес випадок застосування декількох агрегатів із різною потужністю, що в певній мірі відповідає досвіду спорудження малих ГЕС (Сабарівська ГЕС (рис. 3) та інші).



Рис. 3. Машинна зала Сабарівської малої ГЕС (Потужність 1400 кВт, р. Південний Буг, м. Вінниця).

Зазвичай потужність меншого агрегату приймається рівною половині потужності основного. В подальшому викладенні приймаємо, що кількість основних агрегатів знову складає 1, 2 або 3 одиниці. Тоді потужність та енергія малої ГЕС визначаються за наступними формулами:

$$N_p = 9,81 \cdot \eta \cdot Q_{cp} \cdot k_p \cdot H \cdot \left(\frac{2n+1}{2n} \right), \quad (21)$$

$$E = \frac{9,81 \cdot \eta \cdot H \cdot Q_{cp} \cdot k_p \cdot T}{2n \cdot 10^5} \times \left[\left(p_Q - (2 \cdot n + 1) \cdot p_2 + p_{Q_{\frac{n-1}{n}}} + p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} \right) + \left(p_{Q_{\frac{2n+1}{2n}}} + p_{Q_{\frac{2n-1}{2n}}} + p_{Q_{\frac{2n-3}{2n}}} + p_{Q_{\frac{2n-5}{2n}}} \right) \right] \quad (22)$$

за умов:

$$\frac{2n+1}{2n}, \frac{2n-1}{2n}, \frac{2n-3}{2n}, \frac{2n-5}{2n}, \frac{n-1}{n}, \frac{n-2}{n} > 0 \quad (23)$$

$$10\% \leq p_{Q_{\frac{2n+1}{2n}}}, p_{Q_{\frac{2n-1}{2n}}}, p_{Q_{\frac{2n-3}{2n}}}, p_{Q_{\frac{2n-5}{2n}}}, p_{Q_{\frac{n-1}{n}}}, p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} \leq 90\% \quad (24)$$

Результати розрахункових досліджень для створу річки. Отримані аналітичні рішення мат-

моделі для створу дозволяють провести розрахункові дослідження кількісних енергетичних показників малої ГЕС у складі декількох агрегатів за різних рівнів забезпеченості витрат води.

За приклад, виконаємо розрахунки для трьох рівнів забезпеченості витрат води (25, 50 та 75%), діапазон зміни значень яких охоплює можливі режими водовикористання стоку для виробництва електроенергії малими ГЕС. Кожному значенню забезпеченості відповідає певна величина k_{pQ} і величина номінальної потужності ГЕС.

Розрахунки виконувались за гідрологічних характеристик для створу (р. Стрий, с. Новий Кропивник) за величини умовного напору $H = 1$ м:

$$Q_{cp} = 19,2; C_v = 0,39; C_s/C_v = 0,77. \quad (25)$$

На рис. 4 наведено графічне зображення залежності модульного коефіцієнта d розрахункової забезпеченості p та позначені розрахункові рівні забезпеченості 25, 50 та 75%. Варіанти побудови станції з одним додатковим агрегатом половинної потужності позначені як 1,5; 2,5 та 3,5. Отримані результати представлені у табл. 1.

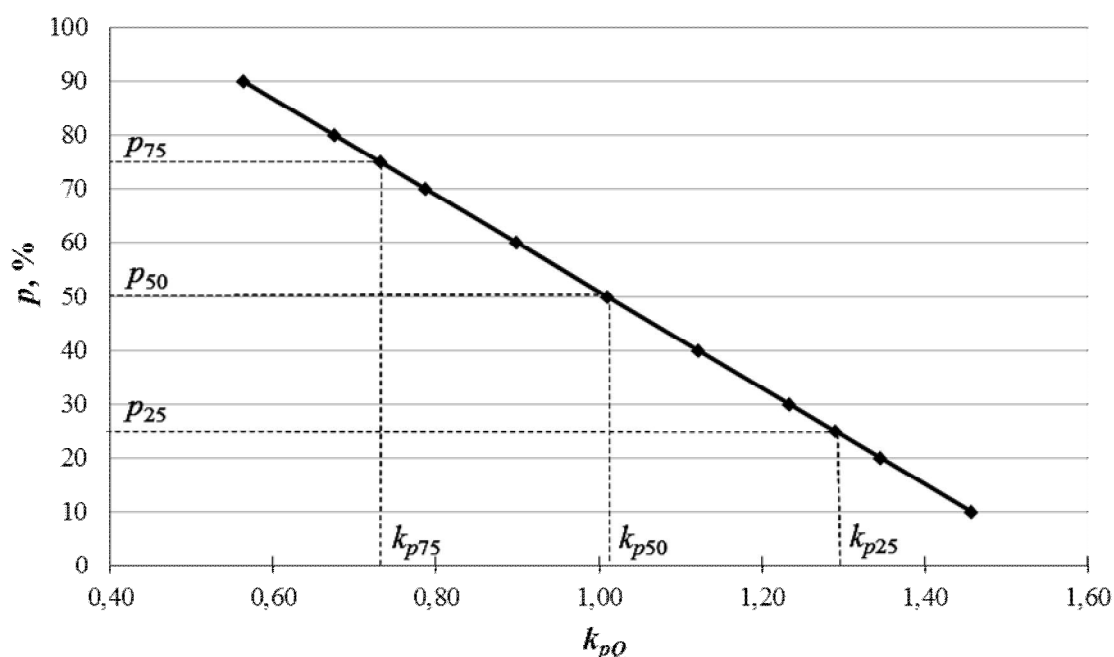


Рис. 4. Залежність забезпеченості p від модульного коефіцієнта k_{pQ} .

Таблиця 1. Гідроенергетичний потенціал створу річки

Кількість аг- регатів	Потужність малої ГЕС N_p , кВт			Виробництво електроенергії E , МВт·год		
	Забезпеченість стоку, %					
	25	50	75	25	50	75
1	178,585	139,912	101,239	234,660	490,251	576,454
1,5	267,877	209,868	151,858	686,168	735,376	786,093
2	178,585	139,912	101,239	686,168	735,376	642,968
2,5	223,231	174,890	126,549	827,506	857,939	784,063
3	178,585	139,912	101,239	774,284	776,837	665,139
3,5	208,349	163,230	118,112	874,619	878,669	761,215

Результати для порівняння наведені на рис. 5. Вони засвідчують, що станція з одним агрегатом найменш ефективна за різної забезпеченості використання стоку річки. Застосування додаткового агрегату половинної потужності суттєво збільшує обсяг виробництва станцій з одним та двома основними агрегатами. Проте необхідно зазначити, що в разі застосування додаткового агрегату половинної потужності збільшується і величина встановленої потужності, відповідно збільшується і обсяг інвестицій на спорудження станції.

Порівняння енергетичної ефективності встановленого 1 кВт потужності обладнання за вико-

ристання водного потоку із забезпеченістю 50% показано на рис. 6. Найбільша віддача встановленого обладнання характерна для варіантів побудови станції з двома та більше агрегатами однакової потужності. Мала ГЕС із одним основним агрегатом виробить більше енергії при малій воді, яка відповідає забезпеченості 75%. Станція з двома основними агрегатами виробить більше енергії при забезпеченості стоку 50%, а мала ГЕС із трьома агрегатами виробить однакову кількість при забезпеченості 25 та 50%.

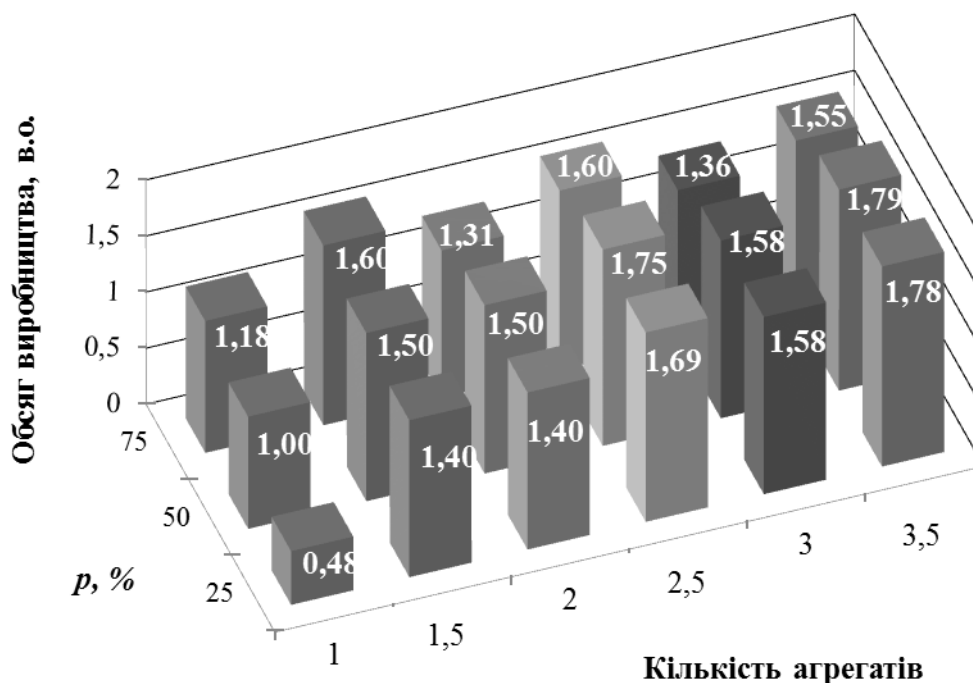


Рис. 5. Обсяг виробництва малої ГЕС у залежності від кількості агрегатів у складі станції.

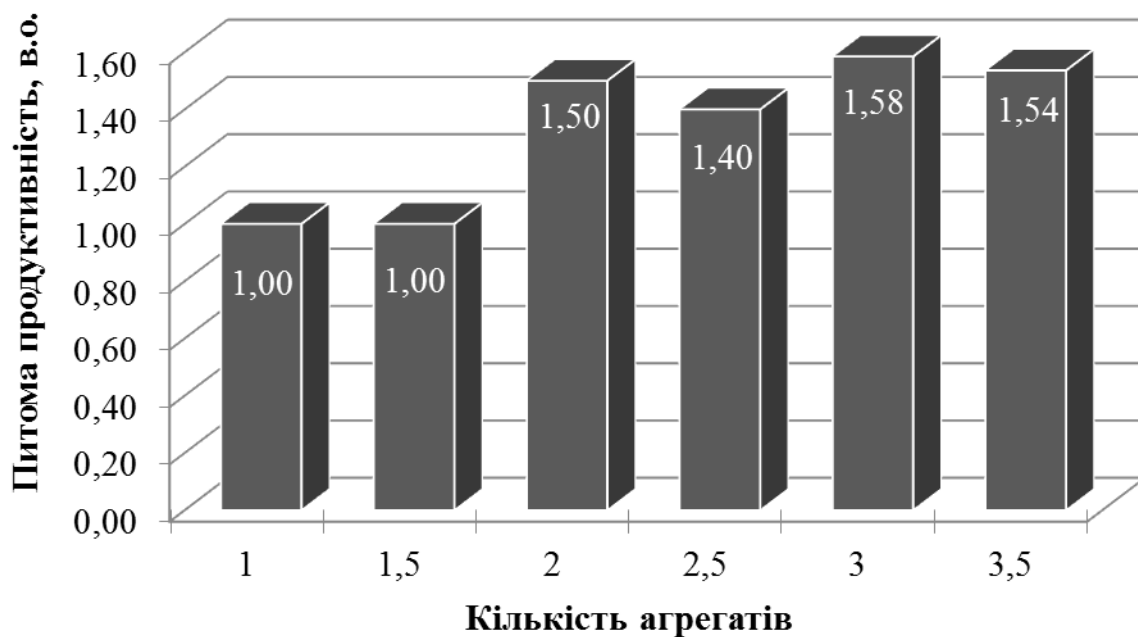


Рис. 6. Питома продуктивність малої ГЕС у залежності від кількості агрегатів (на 1 кВт встановленої потужності при $p = 50\%$).

В процесі проведення розрахункових досліджень енергетичної ефективності станції була виявлена непропорційність зміни обсягів виробництва електроенергії у порівнянні зі змінами встановленої потужності для всіх значень забезпеченості стоку (табл. 1). У більшості випадків при збільшенні встановленої потужності на 50% обсяг виробництва електроенергії збільшується не більш ніж на 20%. Тому було зроблено висновки, що як показник гідроенергетичного потенціалу створу доцільно використовувати обсяг виробництва електроенергії, а величину встановленої потужності застосовувати як додатковий довідковий показник для визначення обсягу інвестицій, що і було унормовано у державному стандарті "Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять" [8].

Отримані кількісні показники в абсолютних одиницях виміру будуть змінюватись для інших створів у залежності від гідрологічних параметрів стоку, проте результати розрахункових досліджень у відносних одиницях будуть характерні для різних створів завдяки практично лінійному характеру залежності $p(k_p)$ у межах робочого діапазону зміни стоку з урахуванням обмежень на використання води для виробництва електроенергії.

Висновки. 1. Розроблено нову математичну модель визначення технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок, яка враховує природоохоронні обмеження на використання стоку води та критерії екологічної цінності територій. Математична модель базується на основних теоретичних положеннях гідроенергетики та застосуванні імовірнісного трипараметричного гамарозподілу витрат стоку води у формі Крицького-Менкеля разом із визначенням вертикального профілю річки методами цифрової картографії.

2. Розрахункові дослідження гідроенергетичного потенціалу малої річки виконані для трьох рівнів (25, 50 та 75%) забезпеченості витрат води, що охоплює можливі режими водовикористання стоку для виробництва електроенергії малими ГЕС, засвідчили, що за регулювання потужності по водотоку станція з одним агрегатом найменш ефективна за різної забезпеченості використання стоку річки. Найбільша віддача встановленого обладнання характерна для варіантів побудови станції з двома або трьома агрегатами. За регулювання потужності по водотоку станція з трьома агрегатами може бути рекомендована для широкого діапазону зміни забезпеченості номінальних витрат.

3. Визначено гідроенергетичний потенціал для малих ГЕС, у складі яких встановлюється додатковий агрегат, потужність якого дорівнює половині потужності основного агрегату. Застосування додаткового агрегату суттєво збільшує обсяг виробництва електроенергії станцій з одним та двома основними агрегатами. Обсяг виробництва станції за різними рівнями забезпеченості, у складі якої є два агрегати – один основної та один половинної потужності, дорівнює обсягу виробництва малої ГЕС, у складі якої два агрегати однакової потужності. Проте у станціях з додатковим агрегатом збільшується величина встановленої потужності, відповідно збільшується і обсяг інвестицій на спорудження станції. Також необхідно врахувати складності амортизації та ремонтних робіт, зумовлених різними конструкціями агрегатів та складністю заміщення елементів гідротурбін.

4. Виявлено непропорційність зміни обсягів виробництва електроенергії малої ГЕС від зміни величини встановленої потужності гідроагрегатів для різних значень забезпеченості стоку та природоохоронних обмежень на використання води. Обґрунтовано використання в якості показника гідроенергетичного потенціалу створу малої річки (або малої ГЕС) величини річного обсягу виробництва електроенергії. Величину встановленої потужності рекомендовано застосовувати як додатковий показник для визначення обсягу інвестицій, що і було унормовано у розробленому державному стандарті ДСТУ 7501:2014 "Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять".

1. Мороз А. В. Аналіз розрахункових досліджень гідроенергетичних ресурсів малих річок України / А. В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2014. – №1. – С. 70 – 75.

2. Малинин Н. К. Теоретические основы гидроэнергетики : учеб. для вузов по специальности "Гидроэлектростанции" / Малинин Н. К. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

3. Мороз А. В. Визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок за довільної забезпеченості витрат води / А. В. Мороз, П. Ф. Васько, А. О. Бриль // Відновлювана енергетика. – 2012. – №1. – С. 42 – 49.

4. Мороз А. В. Законодательные стимулы и природоохранные ограничения использования гидроэнергетических ресурсов малых рек Украины / А. В. Мороз, П. Ф. Васько //

International scientific journal for alternative energy and ecology (ISJAE). – 2014. – № 17. – С. 82 – 92.

5. Подгорінов А. Л. Гідроенергетичне використання малих річок України / А. Л. Подгорінов, Л. С. Хілобоченко. – К. : АН УРСР, 1959. – 193 с.

6. Мороз А. В. Властивості та особливості застосування імовірнісного трипараметричного гамма-розподілу для визначення технічного гідроенергетичного потенціалу малої річки / А. В. Мороз // Відновлювана енергетика. – 2014. – №2. – С. 72 – 78.

7. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик : ДБН В.2.4-8:2014. – [Чинний від 2015-06-30]. – К. : Мінеріонбуд, 2015. – (Державні будівельні норми України).

8. Мороз А. В. Проект державного стандарту "Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять" / А. В. Мороз, П. Ф. Васько, А. О. Бриль // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 2. – С. 65 – 67.

REFERENCES

1. Moroz, A.V. (2014). Analiz rozrahunkovih doslidzhen hidroenergetichnih resursiv malih richok Ukraini [Analysis settlement studies of hydropower resources of small rivers Ukraine]. *Vidnovljuvana eneretyka [Renewable Energy]*, 1, 70–75 [in Ukrainian].

2. Malinin, N.K. (1985). *Teoreticheskie osnovy hydroenergetiki* [Theoretical Foundations of hydropower]. Moscow, Russia: Energoatomizdat [in Russian].

3. Moroz, A.V., Vasko, P.F., Brill, A.A. (2012). Vyznachennya gidroenergetichnogo potentsialu malih richok za dovilnoi zabezpechenosti vitrat vodi [Definition hydropower potential of small rivers provision for voluntary water consumption]. *Vidnovljuvana eneretyka [Renewable Energy]*, 1, 42–49 [in Ukrainian].

4. Moroz, A.V. (2014). Zakonodatelnie stimuli i prirodoohrannie ogranicenia ispolzovania gidroenergeticheskikh resursov malih rec Ukraini [Legislative incentives and environmental limits of hydropower resources of small rivers in Ukraine]. *Mejdunarodnij nauchnij jurnal "Alternativnaia energetika i ekologia" [International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology]*, 17, 82–92 [in Russian].

5. Podgorinov, A.L. (1959). *Gidroenergetichne vikoristannya malih richok Ukraini* [Hydropower use of small rivers in Ukraine]. Kiev: AN URSR [in Ukrainian].

6. Moroz, A.V. (2014). Vlastivosti ta osoblivosti zastosuvannya imovirnisnogo triparametrichnogo gama-rozpodilu dlya viznachennya tehnicnogo gidroenergetichnogo potentsialu maloi richki [Properties and features of probability three-parameter gamma distribution to determine the technical hydropower potential of small rivers]. *Vidnovljuvana eneretyka [Renewable Energy]*, 2, 72–78 [in Ukrainian].

7. DBN V.2.4-8:2014 (2015). *Vyznachennja rozrahunkovyh gidrologichnyh harakterystyk* [State Building Standards: Determining the Calculated Hydrological Characteristics]. Naukovo-doslidnyj instytut budivel'nyh konstrukcij (NDIBK) Minregionbudu Ukrainy [State Research Institute of Building Con-

structions of the Ministry of Regional Development, Construction, and Communal Living of Ukraine].

8. Moroz, A.V. (2013). Projekt derzhavnogo standartu "Gidroenergetika. Gidroelectrostantiy mali. Termini ta viznachennya ponyat" [The project of the state standard "Hydropower. Small hydropower plants. Terms and definitions"] *Vidnovljuvana energetyka [Renewable Energy]*, 2, 65–67 [in Ukrainian].

А.В.Мороз, канд.техн.наук (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Математическая вероятностная модель определения технического потенциала малых рек

Разработана математическая вероятностная модель определения технического потенциала малых рек, которая учитывает природоохранные ограничения на использование воды и критерии экологической ценности территорий. Библ. 8, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: гидроэнергетика, мощность, потенциал, сток реки, экология, электроэнергия.

Moroz A. (Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv)

The mathematical model of probability determination technological capacity of small rivers

There has been developed the mathematical probability model determination of technical potential of small rivers that takes into account environmental restrictions on water use and criteria of ecological value areas. References 8, table 1, figures 6.

Keywords: capacity, ecology, electricity, flow of the river, hydropower, power.

SYNOPSIS

According to the decision of the Council of Ministers of the Energy Community D/2012/04/MC-EnC Ukraine has com-

mitted until 2020 to reach 11 percent of energy produced from renewable energy sources in the total energy supply of the country. Small hydropower sector plays an important role in achieving the objectives set by the European Community.

Full-scale refinement of hydropower potential of small rivers on the territory of Ukraine after 1960 was not held. In recent years significantly has changed regulatory framework of small hydropower Ukraine. Definition of technical potential of water resources of small rivers of Ukraine with current regulatory framework of renewable energy sources and environmental protection is an important task for contemporary scientific research.

In publication are describe highlights of the calculated research to develop new mathematical model to estimate technical hydropower potential of small rivers that considers environmental restrictions on the use of water flow and criteria of ecological value areas. A mathematical model based on the provisions of the basic theoretical hydropower and application of probability of three parametric gamma distribution expenses of water flow in a form of Krytskoho-Menkelya with determination of vertical profile by digital mapping methods.

There has been carried out of calculations study of hydropower potential of small rivers in three levels (25, 50 and 75%) of provision of water consumption that covers possible modes of water use for power generation by small hydropower plants in the 1, 2 and 3 units with an additional half-capacity unit.

Was found disproportionate change in the production of electricity of small hydropower plant from change in the installed capacity of hydraulic units for different values of the flow sufficiency and environmental restrictions on water use. There has been substantiated application as a measure of hydropower potential of section of small river or small hydropower plants, the value of annual electricity production, and installed capacity is recommended as an additional indicator to determine the level of investment that was normalized in the state standard DSTU 7501:2014 "Hydropower. Small hydropower plants. Terms and definitions".

Стаття надійшла до редакції 04.02.17

Остаточна версія 18.05.17

XV МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВІСТІ-2017
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ УСТАТКУВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ ПІДСТАНЦІЇ, КАБЕЛІ, ПРОВІДИ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ПРОМИСЛОВА СВІТОТЕХНІКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КВПІА

XV МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ: СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, 02002
Київ, Броварський пр-т, 15
© "Лівобережна"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.mvc.ukr
www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр
ЗА ПІДТРИМКИ
Міністерства енергетики
та вугільної промисловості України
Технічний партнер: *Російська Федерація*

7-9
листопада