

# **ПРО ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ РОЗВИТКУ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКУ НЕВИКОРИСТАНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

**Стефанишин Д.В.**

**Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України**

**[dvstefanyshyn@yahoo.com](mailto:dvstefanyshyn@yahoo.com)**

# Постановка задачі

При порівнянні варіантів розвитку гідроенергетики надзвичайно складно забезпечити прийнятну достовірність вартісних та енергетичних показників об'єктів, що плануються до будівництва.

Це утруднює оцінку варіантів та зводить задачу вибору оптимального рішення до задачі прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику.

Джерелами невизначеності показників нових об'єктів гідроенергетики можуть бути: неповнота знань про інженерно-геологічні, гідрологічні, кліматичні та ін. умови будівництва гідропоруд, нечіткість оцінок щодо вартості матеріалів, устаткування тощо.

Порівнювалися модельні варіанти перспективного розвитку Дніпровського каскаду ГЕС за рахунок будівництва Каховської ГЕС-2 (розширення Каховської ГЕС) та Канівської ГАЕС. Здійснювалося попарне порівняння альтернатив з врахуванням ризику невикористаних можливостей. Повні ризики  $r_{ij}$ ,  $r_{ji}$  порівнюваних альтернатив

$a_i$ ,  $a_j$  оцінювалися згідно моделі:

$$r_{i,j} = l_i + g_j, \quad r_{j,i} = l_j + g_i, \quad i, j = \overline{0, n}, \quad i \neq j, \quad (1)$$

де  $l_i$ ,  $g_i$ ,  $l_j$ ,  $g_j$  – невід’ємні значення числових характеристик, що описують програшні  $l$  та виграшні  $g$  якості альтернатив  $a_i$ ,  $a_j$ , відповідно;

$n$  – загальна кількість порівнюваних альтернатив.

Вибір кращого варіанта здійснювався за правилом:

$$d_{opt} = \left\{ a_{i,opt} \mid a_{i,opt} \in A \wedge r_{i,opt} = \min(r_{i,j}) \right\}, \quad (2)$$

де  $A = \{a_i\}$  – множина порівнюваних допустимих альтернатив,  $i = \overline{1, n}$ ,  $r_{ij}$  – повний ризик варіанта  $a_i$  за умови існування альтернативи  $a_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $j \neq i$ .

Тобто варіант  $a_i$  є кращим за альтернативу  $a_j$ , якщо  $r_{ij} < r_{ji}$ .

В усіх випадках альтернативи  $a_i$  та  $a_j$  вважалися допустимими і порівнюваними якщо:  $l_i < g_i$ ,  $l_j < g_j$ , і, якщо  $l_i < l_j$ , то,  $g_i < g_j$ .

Альтернативи  $a_i$ ,  $a_j$  упорядковувалися за зростанням програшу  $l$ .

Програшні якості варіантів, що розглядалися, представлялися: 1) очікуваними затратами на нові потужності; 2) «ризикованими» потужностями – різницями між встановленими та гарантованими потужностями 90% забезпеченості (для варіантів з будівництвом Каховської ГЕС-2) і/або різницями між встановленими потужностями в насосному та турбінному режимах (для варіантів з будівництвом Канівської ГАЕС). Виграшні якості варіантів моделювалися приростами середньо багатолітнього виробітку електроенергії та гарантованими (90% забезпеченості) турбінними потужностями.

# Складові повного ризику варіантів

Згідно з моделлю (1) для кожного з порівнюваних варіантів  $a_i$ ,  $i = \overline{0, n}$ , задавалися  $n - 1$  значень повного ризику, які визначалися можливими безпосередніми втратами  $l_i$  при цьому варіанті та сподіваними позитивними результатами альтернатив, що відкидаються,  $g_j$ ,  $j = \overline{0, n}$ ,  $i \neq j$ ,

де  $l_i$  – власний (або системний) ризик варіанта  $a_i$  ;  
 $g_j$ ,  $j = \overline{0, n}$ ,  $i \neq j$  – ризик невикористаних можливостей (несистемний ризик), який може набувати різних значень в залежності від альтернатив  $a_j$ ,  $j = \overline{0, n}$ ,  $j \neq i$ , що відкидаються.

Очікувані затрати на будівництво Каховської ГЕС-2 та Канівської ГАЕС оцінювалися з врахуванням даних про очікувану вартість будівництва в подібних умовах нових ГЕС та ГАЕС в світі.

Були побудовані регресійні залежності очікуваних (осереднених) затрат на нове будівництво в залежності від встановленої потужності ГЕС (рис. 1) та ГАЕС (рис. 2).

Очікувані затрати на будівництво Каховської ГЕС-2, з врахуванням відсутності потреби будівництва греблі й водоскидних споруд, орієнтовано оцінювалися в 30 % від очікуваних затрат на нове будівництво (табл. 1).

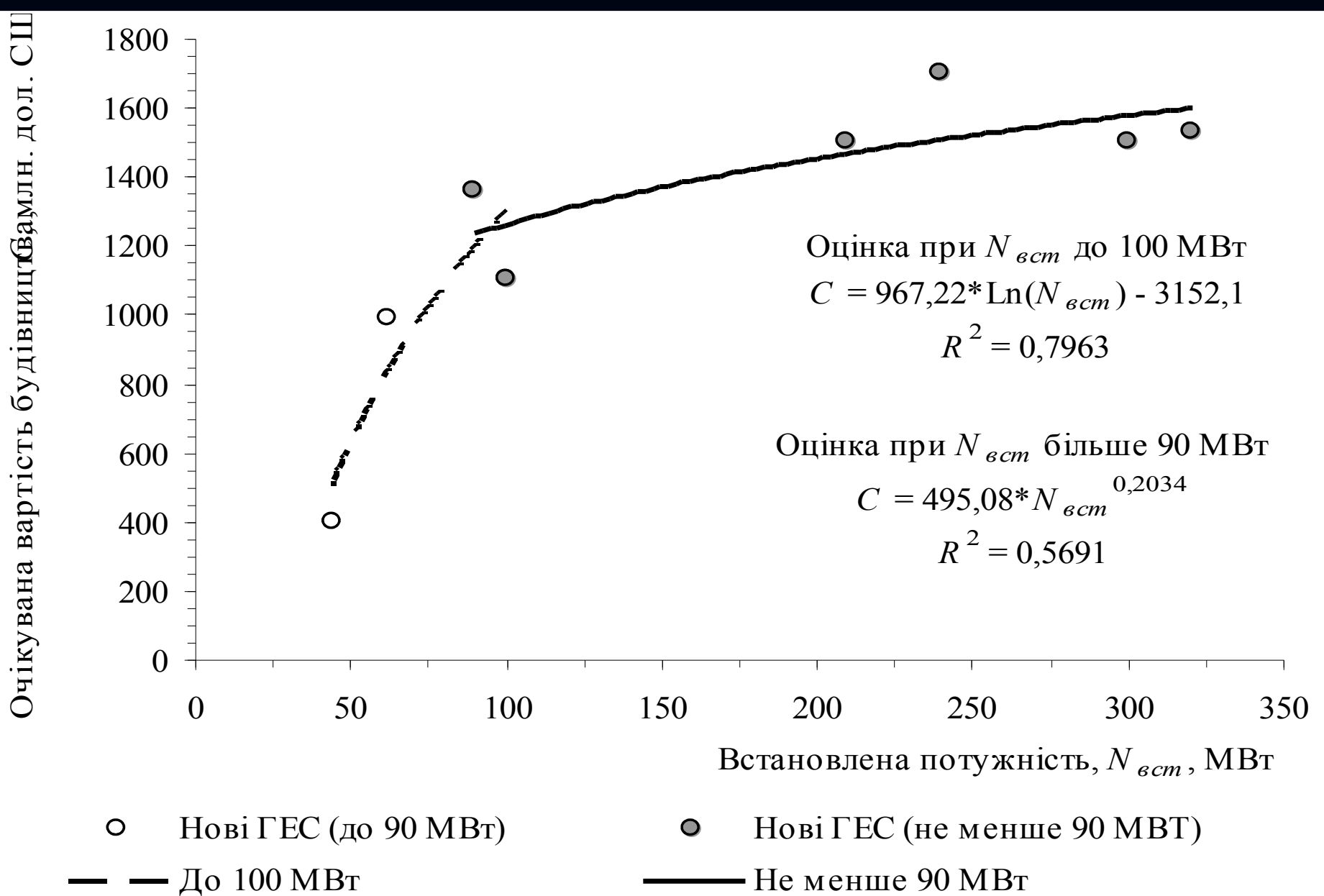
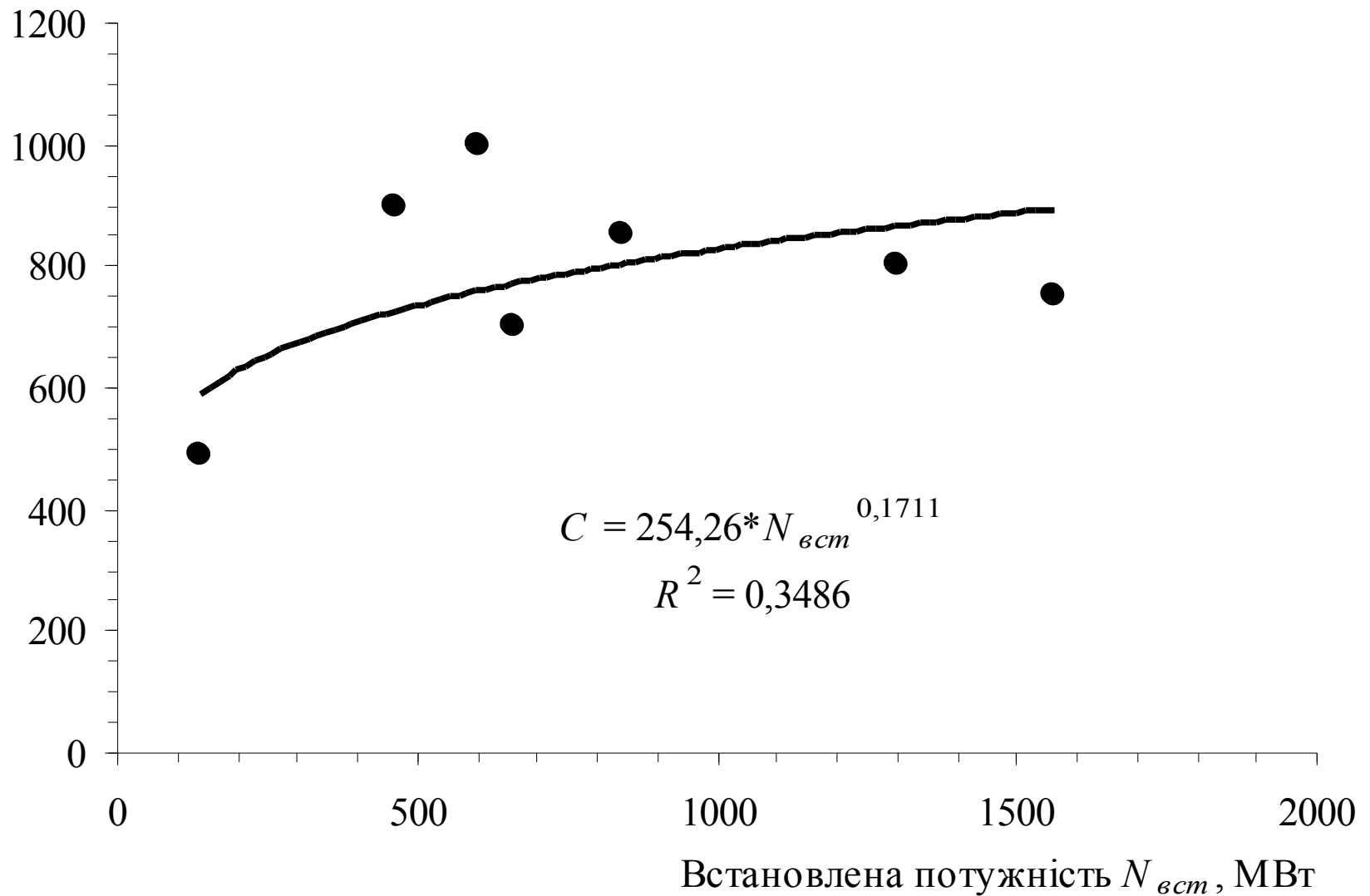


Рис. 1. Очікувані затрати на будівництво нових ГЕС в залежності від встановленої потужності



Очікувана вартість будівництва  $C$ , млн.

дол. США



● Нові ГАЕС — При потужностях до 1500 МВт

Рис. 2. Очікувані затрати на будівництво нових ГАЕС в залежності від встановленої потужності

Таблиця 1

Результати прогнозування вартості будівництва Каховської ГЕС-2 в залежності від встановленої потужності

Затра-ти, млн. у. о.	Встановлена потужність, МВт							
	56	112	168	224	280	336	392	448
Нове будів- ництво	741,3	1292,7	1403,8	1488,4	1557,5	1616,3	1667,8	1713,7
Кахов- ська ГЕС- 2	223	390	422	447	468	485	500	515

Очікувані затрати на будівництво Канівської ГАЕС приймалися рівними 820 млн. дол. США.

Розрахункові показники порівнюваних варіантів (затрати на будівництво  $C$ , млн. у. о., прирости середньо багатолітнього виробітку електричної енергії  $E$ , млн. кВт · годину, гарантовані потужності 90% забезпеченості  $N_{90\%}$ , МВт, «ризиковані» потужності  $\Delta N$ , МВт, як різниці між встановленими та гарантованими потужностями 90% забезпеченості для ГЕС або різницями між встановленими потужностями в насосному та турбінному режимах для ГАЕС) наведені в табл. 2. Нумерація варіантів встановлювалася за зростанням затрат на їх реалізацію як основної складової власного ризику альтернатив.

## Розрахункові показники варіантів розвитку Дніпровського каскаду

Показники	Варіанти									
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
$C$	0	390	447	485	515	820	1210	1267	1305	1335
$E$	0	53	85	105	120	1017	1070	1102	1122	1137
$N_{99\%}$	0	89	170	243	312	1000	1089	1170	1243	1312
$\Delta N$	0	23	54	93	136	120	143	174	213	256

# Коротка характеристика варіантів

- 1) «нульовий» варіант ( $a_0$ ) – відмова від будівництва як Канівської ГАЕС, так і Каховської ГЕС-2;
- 2)  $a_1$  – два гідроагрегати на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;
- 3)  $a_2$  – чотири гідроагрегати на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;
- 4)  $a_3$  – шість гідроагрегатів на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;
- 5)  $a_4$  – вісім гідроагрегатів на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;
- 6)  $a_5$  – будівництво Канівської ГАЕС потужністю в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт;

7)  $a_6$  – Канівська ГАЕС потужністю в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт, та два агрегати на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;

8)  $a_7$  – Канівська ГАЕС в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт, та чотири агрегати на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;

9)  $a_8$  – Канівська ГАЕС в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт, та шість гідроагрегатів на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний;

10)  $a_9$  – Канівська ГАЕС в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт, та вісім гідроагрегатів на Каховській ГЕС-2 встановленою потужністю 56 МВт кожний.

Для спрощення задачі компоненти ризику для кожного з варіантів вважалися рівноцінними. Покладалося, що додаткові затрати на будівництво гідроенергетичних об'єктів можуть адекватно компенсуватися вигодами від збільшення виробітку електроенергії, «ризиковані» потужності – збільшенням гарантованих пікових потужностей в енергосистемі.

Оскільки різні складові повного ризику порівнюваних варіантів мають різні одиниці вимірювання, то для їх кількісного оцінювання використовувався бальний підхід

# Оцінювання ризику в балах

Оцінка ризику, в балах, за параметром  $y_i$ :

$$r(y_i) = \mu_i \cdot \lg y_i + y_{i,0} \quad , \quad (2)$$

де  $\mu_i$  – модуль,  $y_{i,0}$  – нуль-пункт (координата початку відліку) на логарифмічній шкалі довжиною  $L = 10$  для параметра  $y_i$ :

$$\mu_i = \frac{L}{\lg y_{i,\max} - \lg y_{i,\min}} \quad , \quad y_{i,0} = -\mu_i \lg y_{i,\min} \quad , \quad (3)$$

$y_{i,\max}$  ,  $y_{i,\min}$  – максимальне й мінімальне значення  $y_i$ .

При  $y_{i,0} = 0$ :

$$y_{i,0} = 0, \mu_i = \frac{L}{\lg y_{i,\max}} \quad . \quad (4)$$



Результати бального оцінювання розрахункових показників варіантів розвитку Дніпровського каскаду

Показники	Варіанти									
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
$C$	0	8,29	8,48	8,59	8,68	9,32	9,86	9,93	9,97	10
$E$	0	5,64	6,32	6,62	6,81	9,84	9,91	9,96	9,98	10
$N_{\text{гг\%}}$	0	6,25	7,15	7,65	8	9,62	9,74	9,84	9,92	10
$\Delta N$	0	5,65	7,19	8,17	8,86	8,63	8,95	9,30	9,67	10

При оцінці повних ризиків варіантів згідно (1) враховувалося, що кожний з показників, що відноситься до власного ризику, має «компенсуватися» відповідною вигодою.

Зокрема, при оцінці власних ризиків варіантів підсумовувалися бальні оцінки затрат та ризикованої потужності кожного з порівнюваних варіантів, при оцінці ризиків невикористаних можливостей – бальні оцінки виробітку електроенергії та гарантованої потужності альтернатив.

$a_j/a_i$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
$a_0$		11,89	13,47	14,27	14,8	<b>19,46</b>	19,65	19,8	19,91	20
$a_1$	13,94		27,41	28,21	28,75	<b>33,41</b>	33,6	33,74	33,85	33,94
$a_2$	15,67	27,57		29,94	30,48	<b>35,14</b>	35,33	35,47	35,58	35,67
$a_3$	16,77	28,66	30,23		31,57	<b>36,23</b>	36,42	36,56	36,67	36,77
$a_4$	17,54	29,43	31	31,8		<b>37</b>	37,19	37,33	37,44	37,54
$a_5$	<b>17,54</b>	<b>29,9</b>	<b>31,4</b>	<b>32,2</b>	<b>32,8</b>		<b>37,6</b>	<b>37,75</b>	<b>37,86</b>	<b>37,96</b>
$a_6$	17,54	30,71	32,28	33,08	33,62	<b>38,28</b>		38,61	38,72	38,81
$a_7$	19,23	31,13	32,7	33,5	34,03	<b>38,69</b>	38,89		39,14	39,23
$a_8$	19,64	31,53	33,1	33,9	34,44	<b>39,1</b>	39,29	39,43		39,64
$a_9$	20	21,89	23,47	24,27	24,8	<b>29,46</b>	29,65	29,8	29,91	

Рис. 3. Таблиця рішень при порівнянні модельних варіантів розвитку Андрівського каскаду

Кращим з десяти розглянутих варіантів розвитку Дніпровського каскаду при попарному їх порівнянні виявився варіант будівництва Канівської ГАЕС потужністю в турбінному режимі 1000 МВт, в насосному – 1120 МВт.

Додатково була проаналізована ситуація вибору оптимального варіанта будівництва Каховської ГАЕС-2, у випадку, коли після будівництва Канівської ГАЕС, буде прийняте відповідне рішення. Розглядалися дев'ять модельних варіантів (табл. 4): «нульовий» і вісім варіантів введення додаткових агрегатів на Каховському гідровузлі (по одному на кожний наступний варіант).

## Розрахункові показники варіантів будівництва Каховської ГЕС-2

Показ- ники	Варіанти								
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
$C$	0	223	390	422	447	468	485	500	515
$E$	0	31	53	70	85	96	105	113	120
$N_{99\%}$	0	45	89	131	170	207	243	278	312
$\Delta N$	0	11	23	37	54	73	93	114	136

Таблиця 5

Значення розрахункових показників варіантів будівництва  
Каховської ГЕС-2 у балах

Показ- ники	Варіанти								
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
$C$	0	8,66	9,555	9,681	9,773	9,847	9,904	9,953	10
$E$	0	7,173	8,293	8,874	9,28	9,534	9,721	9,874	10
$N_{\text{гг\%}}$	0	6,628	7,816	8,489	8,943	9,286	9,565	9,799	10
$\Delta N$	0	4,881	6,382	7,35	8,12	8,733	9,226	9,641	10

$a_j/a_i$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
$a_0$		13,8	16,11	<b>17,36</b>	18,22	18,82	19,29	19,67	20
$a_1$	13,5		29,65	<b>30,9</b>	31,76	32,36	32,83	33,21	33,54
$a_2$	15,94	29,74		<b>33,3</b>	34,16	34,76	35,22	35,61	35,94
$a_3$	<b>17,03</b>	<b>30,83</b>	<b>33,14</b>		<b>35,25</b>	<b>35,85</b>	<b>36,32</b>	<b>36,7</b>	<b>37,03</b>
$a_4$	17,89	31,69	34	<b>35,26</b>		36,71	37,18	37,57	37,89
$a_5$	<b>18,58</b>	32,38	34,69	<b>35,94</b>	36,8		37,87	38,25	38,58
$a_6$	19,13	32,93	35,24	<b>36,49</b>	37,35	37,95		38,8	39,13
$a_7$	19,59	33,39	35,7	<b>36,96</b>	37,82	38,41	38,88		39,59
$a_8$	20	33,8	36,11	<b>37,36</b>	38,22	38,82	39,29	39,67	

Рис. 4. Таблиця рішень при порівнянні модельних варіантів розвитку Дніпровського каскаду

## Висновки

Оптимальним варіантом розвитку Дніпровського каскаду гідроелектростанцій на ближчу перспективу є варіант будівництва Канівської ГАЕС встановленою потужністю 1000 МВт в турбінному режимі та 1120 МВт в насосному режимі. Після будівництва Канівської ГАЕС каскад може отримати новий імпульс до розвитку шляхом розширення Каховської ГЕС – побудови Каховської ГЕС-2 з введенням трьох-чотирьох додаткових агрегатів загальною встановленою потужністю 168 – 224 МВт, відповідно.