

ВПЛИВ ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ НА ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ГЕС

ГЕС не є монопольними водокористувачами. Учасники водогосподарського комплексу та екологія водосховищ вносять жорсткі обмеження на режими енергооб'єктів. У процесі планування та оптимізації режимів ГЕС можуть бути одержані досить об'єктивні кількісні оцінки енергетичних втрат від кожного виду обмежень.

ГЭС не являются монопольными водопользователями. Участники водохозяйственного комплекса и экология водохранилищ вносят жесткие ограничения на режимы энергообъектов. В процессе планирования и оптимизации режимов ГЭС могут быть получены достаточно объективные количественные оценки энергетических потерь от каждого вида ограничений.

Для водогосподарських систем завжди існують протиріччя між окремими учасниками комплексу. Вже минули часи, коли "хазяїном" води була галузь, для якої споруджувався той чи інший гідровузол. Розглянемо ці протиріччя на прикладі Дніпровського каскаду ГЕС. Приміром, водний транспорт зацікавлений в підтримці найбільших глибин у навігаційний період, і необхідність підтримки гарантованих судноплавних глибин призводить до недовикористання об'єму Дніпровських водоймищ у навігаційний період для енергетичних цілей. В літній період зростають витрати води на зрошення. В цей час на окремих ділянках водоймищ створюються найважчі умови з гідробіологічного й гідрохімічного стану. Все це потребує підвищених витрат води, тоді як в електроенергетичній системі настає сезонне зниження електроспоживання. Енергетики зацікавлені зберегти воду на осінньо-зимовий період, бо передчасне спрацювання може призвести взимку до значних втрат потужності й виробітку електроенергії.

Особливі умови виникають на окремих мільководних ділянках водоймищ, коли можлива загибель риби під час льодоставу і спрацювання водоймища. Стримуються режимні коливання рівнів за умовами зберігання молоді водноплавної птиці, а також молоді риби на нерестовищах.

У процесі експлуатації гідровузла можливі також інші протиріччя, в тому числі, внутрішньогалузеві та режимні, короткочасні (наприклад, проведення особливо багатотоннажного судна) і досить тривалі. За будь-якого випадку дозвіл їх принципово можливий завдяки керованому регулюванню витрат води.

З іншого боку, багато з цих протиріч спричинено порушенням режиму природного водотоку. Останніми роками все наполегливіше проявляється комплекс екологічних обмежень на шкоду інтересам господарських водокористувачів і водоспоживачів.

Багато в чому протиріччя учасників водогосподарського комплексу вирішуються шляхом визначення пріоритетів у прийнятті рішень на основі аналізу експертів. У процесі експлуатації економічні критерії з задовільною точністю працювати не можуть. Це не дивно, бо поки що вода як природний ресурс не знайшла об'єктивної економічної оцінки. Понад те – інформаційно кількісні дані з достатньою точністю вимірюються лише на ГЕС.

Втрати енергії (потужність і можливий виробіток електроенергії) можуть оцінюватися досить точно. Далі це питання розглядатиметься докладніше із застосуванням математичного моделювання. Тут подано лише загальну характеристику цих втрат.

Основною вимогою енергетики до каскаду ГЕС є отримання найбільшого виробітку електроенергії при використанні стоку по каскаду, а також забезпечення максимальної участі станції в покритті піків навантаження, особливо в період осінньо-зимового максимуму. При цьому в енергооб'єднанні досягається максимальна економія палива. З позицій енергетики необхідно мати можливість проводити необмежене добове регулювання на ГЕС і в необхідних випадках спрацьовувати водоймища в межах усїєї їх робочої ємності. Це дозволило б забезпечити енергосистему максимальними піковими потужностями і забезпечити широкі можливості несення резерву.

Будь-які обмеження, в тому числі і соціально-екологічні, водокористувачів і водоспоживачів призводять до зниження потужності ГЕС і можливого виробітку електроенергії на окремих інтервалах часу існування цих обмежень. У даному випадку варто лише відрізнити обмеження, що накладаються ГЕС як енергетичним об'єктом на самого себе (зниження енергопотенціалу напору за великих витрат води через турбіни), від обмежень зовнішніх, викликаних іншими учасниками комплексу і соціально-екологічними причинами.

Нині на вимогу рибоохорони обмежено режими всіх ГЕС каскаду, в тому числі в зимовий і весняний періоди. У квітні-червні через нерест риби обмежено коливання в нижньому б'єфі Канівської, Дніпродзержинської, Каховської ГЕС, а також коливання верхнього б'єфа Дніпровської ГЕС, що знижує потужність і регульовальний діапазон ГЕС з утратою виробітку в піковій зоні графіка навантаження.

За умовами зимівлі риби в грудні-березні обмежуються швидкості добового спрацювання Київського, Кременчуцького і Каховського водоймищ; проводиться передчасне спрацювання Київського водоймища до початку льодоставу. Під час льодоставу обмежується амплітуда добових коливань у нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Ці обмеження призводять до втрат наявної потужності та регульовального діапазону ГЕС, втрат виробітку електроенергії в пікових зонах графіка. За умовами забезпечення санітарного стану р. Дніпро протягом року виконується базисний попуск 400 м³/с через Дніпродзержинську ГЕС і середньотижневий попуск не нижче 500 м³/с через Каховську ГЕС. Обмежено амплітуду коливань рівня в Києві. При цьому губиться наявна потужність і регульовальний діапазон виробітку електроенергії в піковій зоні графіка. Після аварії на Чорнобильській АЕС можливий обмежений режим передповеневого спрацювання Київського водоймища.

Через недосконале проектування водозаборів і зрошувальних систем вимушено введені ряд обмежень. За умовами роботи водозбору підприємств Черкаського району обмежується зимове спрацювання Кременчуцького водоймища. Для забезпечення роботи Північно-кримського каналу Каховське водоймище в зимовий період спрацьовується до обмежувальної позначки. Водночас наприкінці березня – початку квітня для промивання Інгулецької зрошувальної системи протягом 7-10 діб встановлюється базисний попуск через Каховську ГЕС.

Обмеження передповеневого спрацювання водоймищ з одночасним змушеним зниженням попусків через Каховську ГЕС визначає нераціональний з позицій енергетики пропуск високих паводків через ГЕС каскаду з холостими скидами води і безповоротними втратами виробітку електроенергії. Водночас такі обмеження можуть призводити до наступної втрати виробітку в зимовий період.

Для забезпечення проходження багатотоннажних суден коливання рівня Дніпровського водоймища в період навігації обмежується. Такий режим обмежує добове регулювання і використання потужності Дніпровської ГЕС, у тому числі в провали навантаження. Плавання багатотоннажного флоту виключає можливість короточасного форсування Кременчуцького водоймища в паводок. Це збільшує ймовірність холостих скидів води через ГЕС каскаду в паводки і призводить до безповоротних втрат виробітку електроенергії.

Обмеження спрацювання водоймищ до початку грудня не дає можливості використовувати гідроресурси ГЕС каскаду у разі напруженого енергетичного балансу в період завершення ремонтної кампанії на ТЕС і АЕС.

Доцільний порядок використання в поточній експлуатації зарегульованого стоку і режиму роботи гідровузлів із урахуванням інтересів всіх учасників водогосподарського комплексу, а також забезпечення безаварійної роботи гідровузлів і безпеки населення, господарств прибережної зони водоймищ і річкового долу на ділянках, що лежать нижче, установлюють "Правила експлуатації водоймищ" і оперативні рішення Міжвідомчої комісії при Держводгоспі. За роки експлуатації каскаду вимоги водокористувачів, і особливо до умов охорони природи, зросли, що спричинило потребу у введенні нових обмежень на режими ГЕС. Здебільшого введені обмеження не передбачалися проектами гідровузлів, і відповідно "Правилами...", які необхідно періодично переглядати.

Таким чином, очевидно, що Дніпровські водоймища значною мірою не є чисто енергетичними.

Енергетичні втрати у процесі призначення обмежень, виражені в зниженні наявної потужності та виробітку електроенергії, можуть визначатися цілком обґрунтовано.

Задача комплексних енергоекономічних досліджень, а вона необхідна при розробці, й особливо при коригуванні "Правил користування...", ще не виконується. Це досить складна загальногосподарська задача. За останні 20 років неодно-

разово виникала необхідність її вирішення, але відомства не змогли визначитись у її фінансуванні. Тим більше така економічна задача необхідна при проектуванні реконструкції водоймищ.

Обґрунтовано оцінити вплив водогосподарських і екологічних вимог і обмежень на режими ГЕС можна лише за допомогою ретельних і трудомістких водноенергетичних розрахунків. Водноенергетичні розрахунки є складною задачею, рішення якої без застосування математичних моделей майже неможливо. Модель повинна враховувати весь комплекс енергетичних, у тому числі режимних, факторів, гідравлічних моделей ГЕС і їх зв'язків у каскаді, а також моделей теплових (ресурсовитратних) електростанцій. При цьому АЕС вважаються базисними електростанціями, що не регулюють графік навантаження електроспоживання.

Такі моделі застосовуються для середньострокового (рік, сезон) планування режиму каскаду ГЕС, а також для місячного і подекадного уточнення режимного плану спрацювання (наповнення) водоймищ. У принципі універсальна, але адаптована для умов Дніпровського каскаду ГЕС модель була розроблена ВНДІ Електроенергетики (Москва). Тривалий досвід експлуатації довів її припустиму точність і придатність для умов ОЕС України [1].

Основна ціль застосування моделі – можливість досягнення мінімальних витрат ресурсів на виробництво заданої кількості електроенергії за заданих обмежень на режим кожної ГЕС каскаду (ресурсів – не тільки витрат води, а й палива в електроенергетичній системі). Це є винятково важливим у будь-якому разі, але особливо важливе в умовах України, де значна частина палива імпортується.

Зовнішні (при моделюванні) умови – обмеження режимів ГЕС на заданих інтервалах часу дозволяють враховувати умови наповнення і спрацювання водоймищ і, природно, опосередковано рівні, витрати, площі, глибини, швидкості течій на ділянках між греблями. У комплексі, залежно від поставленої задачі, це дозволяє моделювати інтереси не тільки енергетичні, а й водогосподарські, отже, і соціальні (екологічні).

В окремому випадку (залежно від поставлених задач) завдання системи обмежень є рішенням задачі багатоцільової оптимізації використання водних ресурсів. Далі коротко показано принципову математичну постановку задачі моделі з рівнобіжною узагальненою характеристикою використаної інформації.

Споживаюча частина електроенергетичної системи (ЕЕС) враховується планованими (прогнозованими) за допомогою інших математичних моделей складового балансу (графіка навантаження енергосистеми).

У процесі розрахунків враховуються гідрологічні прогнози стоків, витрат води (притоків) і забезпеченості на задані періоди часу, величини ремонтної потужності на ГЕС і в ЕЕС, характеристики б'єфів ГЕС з урахуванням їх динаміки (добігання води між створами ГЕС), характеристики ГЕС і їх устаткування, характеристики інших електростанцій (паливних).

Гідрологічний прогноз здійснюється поза процесом керування ЕЕС – в органах гідрометeorології. В принципі він подає імовірнісний прогноз забезпеченості: річного стоку, середньоквартальних і середньомісячних витрат води. На найближчий очікуваний інтервал часу виконуються середньотижневі прогнози.

Прогнози (при плануванні) наявних потужностей АЕС, ТЕС, ГЕС, у принципі, є самостійною задачею планування ремонтів і резерву. Друга частина є досить складною імовірнісною надійнісною задачею. Але рівні резерву можуть задаватися на основі експлуатації. Останніми роками задача планування наявних потужностей ТЕС ускладнилася через дефіцит палива.

Модель технологічних процесів на ТЕС може визначатися залежністю витрат палива $B_{\text{ТЕС}}$ від потужності, $B_{\text{ТЕС}, i} = B(N_{\text{ТЕС}, i})$. Потім розраховується еквівалентна в енергосистемі залежність для стану і заданого складу устаткування – $B_{\text{ТЕС}}(N_{\text{ТЕС}})$.

Моделі технологічного процесу кожної ГЕС визначаються залежністю $N_{\text{ГЕС}i}(Q_{\text{ГЕС}j}, H_j)$, де $Q_{\text{ГЕС}j}$ – витрати води, H_j – напори, $N_{\text{ГЕС}i}$ – потужність.

Застосовані критерії оптимізації:

$$B(N_{\text{ГЕС}}) = \int_{t_0}^{t_0+T} B \left[P_{\text{ЕЕС}}(t) - \sum_{j=0}^l N_{\text{ГЕС}j}(Q_{\text{ГЕС}j}, H_j, \eta_{j,t}) \right] dt \longrightarrow \min \quad (1)$$

або

$$E(N_{\text{ГЕС}}) = \int_{t_0}^{t_0+T} \sum_{j=0}^l [N_{\text{ЕЕС}j}(Q_{\text{ГЕС}j}, H_j, \eta_{j,t})] dt \longrightarrow \max, \quad (2)$$

де $h_{j,t}$ – еквівалентні середньостанційні ККД кожної ГЕС.

При практичному рішенні задач інтегрування замінюється припустимим підсумовуванням за часом.

Математичні моделі виробництва електроенергії і притоку води до створів ГЕС є функціями часу.

Модель технологічного процесу ГЕС, виражена функцією $B_{\text{ГЕС}} = B_{\text{ГЕС}}(N_{\text{ГЕС}})$, задається ступеневим многочленом виду:

$$B_{\text{ГЕС}} = \beta_0 + \beta_1 N_{\text{ГЕС}} + \beta_2 N_{\text{ГЕС}}^2 + \dots + \beta_n N_{\text{ГЕС}}^n. \quad (3)$$

Ступінь многочлена визначається (для отриманого складу устаткування) мінімізацією середньоквадратичного відхилення параметрів моделі від фактичної характеристики у вузлах апроксимації.

Для кожного гідровузла задаються морфологічні залежності рівнів

$$Z_{\text{вб}j}(V_j) \text{ та } Z_{\text{нб}j}(Q_{\text{нб}j}), \quad (4)$$

а у випадку підпора від ГЕС, що лежить нижче,

$$Z_{\text{нб}j}(Q_{\text{нб}j}, Z_{\text{вб}(j+1)}), \quad (5)$$

де Z_j – рівні верхнього і нижнього б'єфів; V_j – об'єм водоймищ; $Q_{\text{нб}j}$ – витрати води через турбіни ГЕС у нижній б'єф.

Це многочлени однієї або відповідно двох змінних. Враховуються нестационарні процеси добігання води від ГЕС до наступної у каскаді ГЕС.

Більш докладно про систему обмежень. Модель технологічних обмежень задається або у вигляді балансу умов (баланс води у водоймищі), або у вигляді двосторонніх нерівностей типу:

$$X^{\min} \leq X \leq X^{\max} \quad (6)$$

Модель технологічних обмежень містить у собі співвідношення виду:

$$P_{\text{ЕЕС}i} - N_{\text{ГЕС}i} - \sum_{j=0}^i N_{\text{ГЕС}j} = 0, \quad (7)$$

$$Q_{\text{нб}ij} - Q_{\text{бп}ij} - Q_{\text{в}ij} - \Delta Q_{ij} = 0, \quad (8)$$

де $Q_{\text{нб}i}$ – витрата води в нижній б'єф j в інтервалі Δt_i ; $Q_{\text{бп}ij}$ – бічний (вільний, не зарегульований) приток води до ГЕС; $Q_{\text{в}ij}$ – витрата води з водоймища ГЕС в інтервалі Δt_i ; ΔQ_{ij} – втрати води водоймища ГЕС в інтервалі Δt_i .

Обмеження за потужністю і рівнями верхнього б'єфу:

$$\begin{aligned} N_{\text{ГЕС}ij}^{\min} &\leq N_{\text{ГЕС}ij} \leq N_{\text{ГЕС}ij}^{\max}; \\ N_{\text{ГЕС}ij}^{\min} &\leq N_{\text{ГЕС}ij} \leq N_{\text{ГЕС}ij}^{\max}; \\ Z_{\text{вб}}^{\text{РМО}} &\leq Z_{\text{вб}i} \leq Z_{\text{вб}i}^{\text{НПП}}, \end{aligned} \quad (9)$$

(РМО – рівень мертвого об'єму, НПП –

нормальний проектний рівень водоймища), а також умова наповнення водоймищ:

$$\int_{t_0}^{t_0+T} Q_{\text{в}i}(t) dt. \quad (10)$$

Модель режимних обмежень в основному пов'язана з режимом витрат води в б'єфах ГЕС і рівнів нижнього б'єфу та має вигляд нерівностей:

$$\begin{aligned} Q_{\text{в}ij}^{\min} &\leq Q_{\text{в}ij} \leq Q_{\text{в}ij}^{\max}; \\ Q_{\text{нб}ij}^{\min} &\leq Q_{\text{нб}ij} \leq Q_{\text{нб}ij}^{\max}; \\ Z_{\text{нб}ij}^{\min} &\leq Z_{\text{нб}ij} \leq Z_{\text{нб}ij}^{\max}. \end{aligned} \quad (11)$$

Складання системи обмежень є спробою скоординувати зовнішні та внутрішні цілі керування енергосистемою. Найбільш істотні з них – водогосподарської системи, опосередковано – екологічні. При рішенні задач планування намагаються заздалегідь визначити припустимі межі основних регульованих параметрів ГЕС, а саме: позначки верхнього і нижнього б'єфів, витрат водоймищ, отже, позначки заданих (контрольованих) точок великих водоймищ. Саме вони можуть бути екологічними обмежувачами.

Весь комплекс обмежень дозволяє врахувати вимоги водогосподарської системи за конкретний інтервал часу і в результаті одержати за умови оптимального режиму середньоінтервальні потужності та виробіток ГЕС і їхні зниження через жорстко задані ті або інші параметри, що обмежуються. Особливо варто підкреслити, що ці зміни відбуваються в умовах оптимального режиму в енергосистемі при одночасному задоволенні зовнішніх умов (обмежень). Опосередковано – екологічних.

За реальних експлуатаційних умов можливі (неминучі) відхилення від оптимальних режимів. Наприклад, на ГЕС – через відсутність палива. Але у темпі процесу керування коригувати плани дуже складно.

Зазначена оптимізаційна модель використовувалася для розрахунків режимів каскаду ГЕС з метою визначення зниження потужності та енергії на ГЕС від росту зовнішніх, у результаті режимних для ЕЕС обмежень. Розрахунки проводилися на основі фактично пройдених режимів, і тому вихідні дані не містять великих прогнозних непевностей. Основною проблемою була трудомісткість розрахунків і необхідність вибору численних тимчасових інтервалів спостережень існування екологічних обмежень. Інформація надавалась Національним диспетчерським центром Укренерго. Там же виконувалися розрахунки.

За математичною моделлю виконано розрахунки впливу найбільш характерних обмежень на виробничі показники (зниження потужності окремих ГЕС, втрати регулювального діапазону, безповоротні та наступні втрати виробітку електроенергії) гідроелектростанцій. Результати розрахунків зведені в таблицях 1 та 2.

Загальні результати існуючих обмежень режимів ГЕС, що можуть бути виражені кількісно в середньорічних показниках, відповідають зниженню до 220 МВт пікової потужності (у паводковій періоді окремих років до 700-900 МВт), втрати до 550-850 млн кВт·год виробітку електроенергії, а також до 540 млн кВт·год можливих наступних втрат виробітку електроенергії (наприклад, у наступному маловодному році). Нові, в тому або іншому виді висунуті, насамперед рибним господарством і громадськістю, обмеження, виражені та промодельовані в попусках через турбіни ГЕС, призводять до 600-900 млн кВт·год втрат (у зимовий період додатково 270-500 млн кВт·год, у випадку наступного маловодного року). На перший погляд, невеликі прямі втрати (50 -70 млн кВт·год) поточного періоду існування обмежень оманні, тому що імовірність наступного маловодного року завжди існує. Крім того, виникають проблеми судноплавства, зрошення (перш за все, Каховське водоймище).

За таких втрат в енергетиці цілком обґрунтовано стає реконструкція зрошувальних систем і водозаборів промислових підприємств і міст, витрати в компенсаційне риборозведення, а також витрати в реконструкцію ложа водоймищ.

Складність таких розрахунків полягає в тому, що водоймища каскадів ГЕС є акумуляторами потенційної енергії пов'язаних об'єктів. Використана енергія в літній і осінній період має одну

ціну, збитки в зимовий період будуть значно більшими. Крім того, в умовах дефіциту потужностей або електроенергії можливі накладання періодів дефіциту палива, аварійні ситуації на АЕС або ГЕС і інші, пов'язані з обмеженнями споживачів. У ці періоди ціна закумуляованої резервної енергії найбільш висока.

Екологічним станом Дніпровських водоймищ стурбована широка громадськість. Висуваються пропозиції, іноді вкрай радикальні, аж до знищення водоймищ і ГЕС, зниження рівня у водоймищах із метою часткового звільнення земель і опосередковано збільшення течій, збільшення попусків (рибне господарство). Але без відповідних розрахунків. Відсутні заздалегідь пророблені заходи для екологічних аварій. І лише в процесі їх появи (наприклад, аварія 1994 р. каналізаційного господарства в Києві) із запізненням міжвідомчою комісією вживаються заходи. Але наслідки цих заходів не аналізуються глибоко і не стають інструктивно-оперативними. Не розраховуються збитки в енергетиці.

Підвищення екології Дніпра за рахунок зниження загального антропогенного впливу забруднених скидів – важлива задача. Але частина, звісно величезних, витрат може компенсуватися за рахунок додаткової продуктивності ГЕС каскаду.

Отже, результатом обмежень режимів роботи ГЕС Дніпровського каскаду є: втрати виробітку електроенергії; зниження наявної потужності окремих ГЕС і каскаду в цілому в окремі періоди часу; зниження маневрових і надійнісних властивостей енергооб'єднання. Ці втрати для енергетики можуть бути досить об'єктивно оцінені в процесі експлуатації каскаду ГЕС.

Таблиця 1. Енергетичні втрати за додатковими, періодично можливими обмеженнями

Умови	Обмеження, вимоги	Енергетичні втрати				
		N, МВт	Регульований діапазон, МВт	Безповоротні, річні млн кВт-год	У піковій зоні, річні млн кВт-год	
Для зниження площ затоплених мілководних зон Канівського водоймища	Зниження НПУ на 0,5-1,0 м (липень - листопад)	40-100	40-100	10-60		
		За низької повені наступного року не забезпечуються робочі напори				
Підтримка мінімальних попусків через Каховську ГЕС за умовами нересту риби	Квітень-1500 м ³ /с	20-130	20-130		20	
	Травень - 2000 м ³ /с	50-120	50-120	15-20	20	
	Червень- 1500 м ³ /с	60-125	60-125	35-40	20	
	Середня та нижча за середню водність	(270 - 540)				
	За низької водності втрати виробітку можуть складати 270-540 млн кВт-год. За наступної низької повені втрати ще більш зростуть і позначки не відновляться майже до Кременчуцького водосховища					
Підтримка підвищених санітарних попусків через Київську ГЕС	Уся межень 600 м ³ /с, середня водність			3		
	Липень-вересень 500 м ³ /с нижче середньої водності			3-4		
	600 м ³ /с липень-вересень низька водність			4-5		
	400 м ³ /с			3		
	500 м ³ /с			3-4		
	600 м ³ /с липень-серпень низька водність			4-5		
	Можливе порушення судноплавства в Канівському водоймищі, у вересні-листопаді рівень нижче на 0,1-0,2 м УНС, при 600 м ³ /с у серпні-листопаді рівень нижче на 1,0-1,5 м УНС					
Підтримка підвищених санітарних попусків через Каховську ГЕС	Липень-вересень 600 м ³ /с при водності вище середньої			120-130		
	Межень 600 м ³ /с			9-10		
	Липень-вересень 700 м ³ /с, водність нижче середньої			130		
	Позначки у Каховському водоймищі на 0,1-0,2 м нижче припустимих за зрошенням. Втрати виробітку в зимовий період до 130 млн кВт.год.					
	Липень-вересень 600 м ³ /с при низькій водності			18-20 (80)		
	У листопаді-жовтні зниження рівнів Кременчуцького водоймища на 0,2-0,5 м нижче УНС, обмеження судноплавства, позначки Каховського водоймища на 0,2-0,4 м нижче необхідних для судноплавства. Втрати виробітку в зимовий період 80 млн кВт-год. За низької повені наступного року обмежуються попуски до 400-450 м ³ /с.					

**Таблиця 2. Обмеження режимів ГЕС Дніпровського каскаду
за вимогами суміжних галузей і охорони природи**

Умови	Обмеження, вимоги	Енергетичні втрати			
		N, МВт	Регульований діапазон, МВт	Безповоротні, річні млн кВт-год	Пікові періодичні За рік млн кВт-год
Судноплавство					
Для проведення багатотоннажних суден у Дніпровське водоймище, квітень - листопад	Вимушені попуски на ДДГЕС				9-15
	Мінімальний рівень 51,2 м, обмежене тижневе регулювання				9-15
	Максимальний рівень водоймища 81,0 м КремГЕС			30-70	160
					160
Для проведення суден "ріка-море" під мостом м. Черкаси у період форсування Кременчуцького водосховища на спаді повені	Мінімальний рівень водоймища 79,0 м, КремГЕС (врахована можливість спрацювання за важких балансів до 78,5 м)				130
Для проведення багатотоннажних суден у Кременчуцьке водоймище. Жовтень - листопад	Мінімальні рівні: Київського 102,0 м Кременчуцького 79,0 м			120-300 сумарно по 2-х водосховищах	130
Забезпечення умов початку навігації в Київському водоймищі					
Екологія					
Рекреація в районі м. Києва	Добове коливання в НБ КГЕС 0,8 (1,3)м				55
					55
					Пікова зона
Розведення промстоків у Дніпровському водоймищі	Мінімальна витрата 400 м³/с ДДГЕС				- 200
Промивання русла р. Інгулець за умовами водопостачання м. Миколаєва в квітні	Базисний 500 м³/с Каховської ГЕС: 10-12 дб, безповоротні втрати	260	310	60	39
					39
Розведення промстоків у Дніпро-Бузькому лимані	Мінімальна середньо-добова витрата 300 м³/с при середньотижневому 500 м³/с, Каховська ГЕС				-
					19
Запобігання затоплення і сіножатей у НБ Канівської ГЕС	Максимальний рівень НБ Канівської ГЕС 82,4м	200	200		
Рибне господарство					
Умови нересту в квітні - травні (середня водність)	Добові коливання НБ Канівської ГЕС 0,6-1,0 м	160-310		60-444	
	ДДГЕС 1,0 м	52	-	110-220	32
	Каховська 0,4	30-190	-	312	32
					85
	Добові коливання в Дніпровському водосховищі 1,4 м	до 400	до 800		19
				19	

**Таблиця 2. Обмеження режимів ГЕС Дніпровського каскаду
за вимогами суміжних галузей і охорони природи (продовження)**

Умови	Обмеження, вимоги	Енергетичні втрати			
		N, МВт	Регульований діапазон, МВт	Безповоротні, річні млн кВт·год	Пікові періодичні За рік млн кВт·год
Умови зимівлі риби	Припустиме добове спрацювання Кременчуцького водосховища				
	Добові коливання рівня в НБ Канівської ГЕС 1,0-3,0 м	140- 300	140-300		
	Мінімальний рівень Київського водосховища 102,4-102,5				
	Мінімальний рівень передповеневого спрацювання Кременчуцького водосховища (врахована можливість спрацювання до УМО перед великою повинню 75,75 м)			130-250	
Водопостачання					
По водозаборах Черкаського промвузла	Мінімальний передповеневий рівень Кременчуцького водосх. (врахована можливість спрацювання до УМО перед великою повинню 75,75 м)				130
По водозаборах Дніпровського водоймища	Мінімальний передповеневий рівень Дніпровського водоймища 50,5 м (врахована можливість спрацювання до УМО 45,5 м)				56
Для роботи Північно- Кримського каналу (самоплив)	Мінімальний передповеневий рівень Каховського водосховища 15,3 м (враховано УМО 14,0 м)				40-90

1. Цветков Е.В., Алябышева Т.М., Парфенов Л.Г. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 304 с.