

## II. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.22-027.236

Пожуєв В. І.<sup>1</sup>, Радченко В. В.<sup>2</sup>, Шкрабець Ф. П.<sup>3</sup>, Кучер В. Г.<sup>4</sup>, Кобець В. П.<sup>5</sup><sup>1</sup>Д-р. фіз-мат. наук, професор, ректор, заслужений працівник освіти України, Запорізька державна інженерна академія, Україна, E-mail: pozhuev@zgia.zp.ua<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія, Україна E-mail: radchvv@ukr.net<sup>3</sup>Д-р. техн. наук, професор, академік Академії наук вищої школи України, Дніпропетровський національний гірничий університет, Україна E-mail: ShcrabetsF@nmpu.org.ua<sup>4</sup>Директор, Дніпровська ГЕС, Запоріжжя, Україна<sup>5</sup>Провідний інженер дільниці високовольних випробувань та вимірювань, Дніпровська ГЕС, Україна, E-mail: kobets.va@rambler.ru

### ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Показані актуальність, стан проблеми й основні діючі чинники, що визначають робочу ефективність основного гідроенергетичного устаткування ГЕС. Розглянуті і класифіковані основні складові ефективності витрат енергії в технологічних системах вироблення електричної енергії. Відображені впливи основних складових технічних й експлуатаційних чинників на рівень ефективності. Приведено обґрунтування і визначений напрям дослідження робочих чинників, що впливають на зміну електричних параметрів гідроагрегату. Запропоновані шляхи підвищення ефективності роботи діючого устаткування ГЕС. Приведені дані можуть бути використані при модернізації гідроенергетичних перетворювачів енергії.

**Ключові слова:** енергетичний перетворювач, гідроагрегат, гідравлічна електростанція, втрати, управління, ефективність, модернізація.

Гідроенергетична галузь відіграє важливу роль в системному формуванні гармонійної енергетичної сфери, тому й увага до її ефективності підвищена.

Спільно з Дніпровською ГЕС (ДніпроГЕС) виконано актуальну науково-дослідну роботу з розробки концепції моніторингу та управління агрегатами ГЕС на основі дослідження інформаційно-енергетичних показників гідроенергетичних процесів. Вона спрямована на оцінку існуючих можливостей ефективного використання діючого ресурсу ГЕС та визначення основних механізмів залучення резервів [1]. Важливими вважаються також задачі модифікації, розширення можливостей систем моніторингу й визначення стану обладнання та споруд для попередження небажаних наслідків їх експлуатації.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічних процесів виробництва енергії за рахунок дослідження причин, характеру та динаміки впливу основних складових і елементів систем керування енергетичними перетворювачами в процесі експлуатації, переважно за рахунок інформаційних, комунікаційних та енергетичних складових [2]. Предметом досліджень є основні складові технологічних компонентів гідроенергетичних процесів ГЕС [3].

Національні гідроенергетичні системи у вигляді каскадів ГЕС являють собою досить потужні та важливі технічні об'єкти, що втілюють складні, багатоступеневі енергетичні перетворення за схемою

$$\Gamma \leftrightarrow M \leftrightarrow E,$$

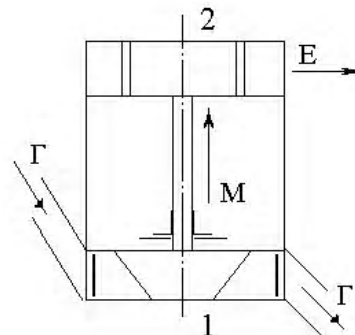
де  $\Gamma$  – гідравлічні складові,  $M$  – механічні,  $E$  – електричні складові процесу.

Безперечно також системна складова їх дії, що забезпечує потрібні мобільні резерви потужностей, потреба в яких невідмінно зростає й підвищує вимоги щодо ефективності дії обладнання.

Основним функціональним елементом гідроенергетичної системи є енергетичний перетворювач у вигляді гідроагрегату, узагальнена схема якого наведена на рис. 1.

Слід зазначити, що гідроенергетичні споруди ГЕС додатково вирішують ще й низку важливих гідротехнічних проблем в господарстві країни. Вимоги до них теж невідмінно зростають. Тому й увага до підвищення їх технічних показників не випадкова, оскільки побудова нових гідроенергетичних об'єктів досить витратна й проблематична з різних поглядів.

Дніпровську ГЕС у якості базового об'єкта гідроенергетичних досліджень обрано теж не випадково. Для цього є щонайменше декількох вагомих причин. Це одна



1 – проточний тракт з гідротурбіною, 2 – гідрогенератор

Рис. 1. Узагальнена схема гідроагрегату

з найперших та найпотужніших вітчизняних ГЕС, реалізованих за системним планом електрифікації. З початку її побудови вже минуло понад 80 років. Це досить поважний вік для такої потужної гідротехнічної споруди. Тому й увага до неї підвищена. З іншого боку, проведені будови й модернізації за зазначений час фактично подвоїли встановлену потужність обладнання. Крім того, її обладнання, його керування й управління має ознаки типовості для каскаду дніпровських ГЕС, що дозволяє поширювати результати й рішення.

Досить суттєво змінилась за останній час також і системна роль гідроенергетики, що вагомо відбилосся на експлуатаційних режимах обладнання. Однак, навіть зміна системної ролі, що відбулася за цей час, з точки зору забезпечення ефективності дії обладнання, виявилася теж фактично не врахована в повній мірі.

Прикладом того, наскільки важливою є остання обставина в забезпеченні функціональної надійності потужних енергетичних об'єктів, може бути відома глобальна аварія 2009 р. на Саяно-Шушенській (СШ) ГЕС у Росії. Її наслідки ще будуть відчуватися протягом багатьох років. До речі потужність Дніпровської ГЕС складає приблизно 25 % від СШ ГЕС. Один з витоків цієї сумнозвісної аварії, з погляду фахівців, саме й полягає в використанні СШ гідроенергетичних агрегатів в нетипових динамічних режимах.

Системна роль вітчизняної гідроенергетики, – динамічного резерву потужностей енергетичної системи обумовлює підвищенні вимоги до поточних технічних характеристик обладнання, надійності та ефективності його використання. Можливість роботи ДніпроГЕС у компенсаційному й піковому режимах, екологічність та майже хвилинна робоча готовність, забезпечує їм суттєву перевагу над іншими генеруючими об'єктами, а також не тільки системну стабільність, але й помірне фінансове навантаження на споживачів.

Наприклад, країни Європи, не маючи таких можливостей, вимушено забезпечують свої пікові потреби за рахунок використання досить дорогих газотурбінних станцій, з низьким загальним ККД, коло 25 % та функційною готовністю близько 10 хв., що суттєво підвищує вартість пікової енергії. Тому проблема покриття пікових навантажень в сучасній енергетиці досить загострена й обумовлює експортні можливості вітчизняної гідроенергетики.

Однак, саме робота обладнання ГЕС в якості динамічного резерву системи має логічним наслідком підвищені навантаження та втрати енергії при перехідних процесах, з якими вже неможливо не рахуватися, зважаючи на статистику циклів пуску та зупинки агрегатів, що притаманні зазначеній вище ролі. Статистика неспинного зростання числа робочих циклів енергетичного обладнання за останні п'ять років свідчить про суттєву вагу динамічних складових в роботі обладнання ГЕС.

З урахуванням зазначеного, загальною фундаментальною проблемою дослідження є визначення впливу інформаційних, комунікаційних та енергетичних складових на якісні показники гідроенергетичного обладнання.

Метою такої роботи є підвищення ефективності процесів виробництва енергії за рахунок дослідження причин, характеру та динаміки впливу основних складових і елементів систем керування енергетичними перетворювачами в процесі експлуатації, переважно за рахунок інформаційних, комунікаційних та енергетичних складових.

Це досягнуто комплексним підходом до аналізу й визначення потрібних складових, що дозволило провести аналіз наскрізного технологічного тракту перетворення енергії ГЕС з різних поглядів.

Загальний показник енергетичної ефективності гідроенергетичної системи можливо визначити як

$$R_E = \sum_{i=0}^N G_i + \sum_{k=0}^M M_k + \sum_{l=0}^J E_l,$$

де  $G_i$ ,  $M_k$ ,  $E_l$  – відповідно гідравлічні, механічні й електричні діючі складові ефективності;  $N$ ,  $M$ ,  $J$  – кількість врахованих складових кожного виду.

Класифікація й обґрунтування складових ефективності й витрат енергії в системах вироблення електричної енергії на ГЕС дозволила визначити основні чинники впливу на ефективність реалізації діючих процесів.

Дослідження, які проведені на діючому обладнанні ДніпроГЕС, включали:

- визначення, класифікацію й аналіз складових ефективності й витрат енергії в системах вироблення електричної енергії на ДніпроГЕС;
- вибір й аналіз технічних і експлуатаційних факторів, що впливають на рівень ефективності;
- дослідження і встановлення основних закономірностей зміни параметрів ефективності та технічних витрат у гідроенергетичних агрегатах;
- обґрунтування і дослідження інформаційних факторів, що впливають на зміни електричних параметрів гідроенергетичного агрегату.

Розглядалися також й специфічні особливості організації роботи основного обладнання.

Запропонований підхід дозволив визначити існуючий стан й основні шляхи підвищення ефективності ГЕС, дефіцит мобільних потужностей яких достатньо гостро відчувається в енергетичній системі України. Для цього з'ясовано наступне:

- витрати активної електричної енергії на збудження різних гідроенергетичних агрегатів знаходяться в межах 2,40–4,40 %, разом на витрати складають 3,71 % від загальних обсягів виробленої енергії;
- витрати енергії гідроенергетичними агрегатами в режимі синхронної компенсації становлять 2,44 % від обсягів вироблення активної енергії за рік;
- власні потреби станції складають 3,14 % від обсягів виданої енергії;
- втрати на шинах відкритого розподільного пристрою (ВРП) становлять 3,97 %;
- рівень ефективності гідроагрегата за рівних умов суттєво залежить від його навантаження, так при зменшенні, на рівні 50 %, ККД зменшується щонайменше на 22 %;

– витрати енергії гідрогенераторами в режимі синхронної компенсації становлять 5 %, що майже вдвічі менше витрат холостого ходу, які для кожного гідроагрегату ДніпроГЕС рівнозначні недовиробленню 7, 2 Мвт. год. на рік;

– втрати первинного джерела енергії – напору води, часом, більш вагомо впливають на ефективність гідроагрегату ніж втрати вторинних кіл перетворення;

– слід зазначити, що втрати обсягів виданої енергії суттєво збільшуються при відхиленні потужності гідроагрегата від номінальної більше ніж на 5 %;

– втрати на перехідних режимах, що становлять до 60 сек. переважно пов’язані з проточним трактом та системою збудження;

– характеристики зміни параметрів гідроагрегата досить нелінійні, суттєво залежать від його навантаження, ККД на рівні 50 % від номінального навантаження зменшується відповідно від 92 % до 70 %;

– витрати холостого ходу складають 10 % протоку крізь турбіну для кожного гідроагрегату ДніпроГЕС;

– витрати первинного джерела енергії – води, мають тенденцію переважного впливу на ефективність гідроагрегату над втратами перетворювачів.

Використано також балансний метод оцінки роботи ГЕС [4]. Досліджено стан поточної ефективності її електричної частини та обладнання за головною схемою.

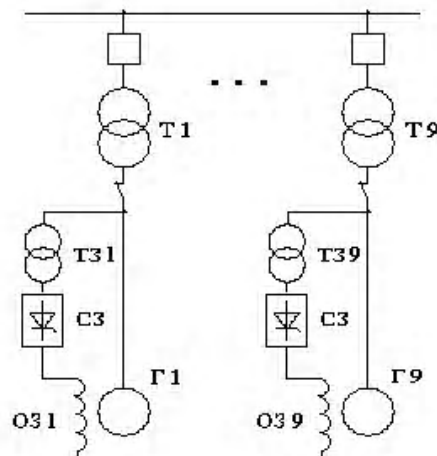
На рівні генерування й видачі електричної енергії проведено аналіз енергетичної ефективності обладнання первинної ланки головної схеми ГЕС, рис. 2.

Дані розподілу енергії відповідно пристроїв обліку між генераторами й трансформаторами та основні їх складові, згідно даних пристроїв обліку, наведено в табл. 1.

До наведених даних слід зазначити наступне.

Повна енергія – це геометрична сума активної та реактивної енергії згідно лічильників РЕСА та ГТ.

Видача за лічильниками ГТ, що встановлені після трансформаторів – це геометрична сума активної та реактивної енергії, виданої трансформаторами.



Г 1 ... Г 9 – гідрогенератори, Т 1 ... Т 9 – трансформатори, ТЗ1 ... ТЗ9 – трансформатори збудження, СЗ – системи збудження, ОЗ1... ОЗ9 – обмотки збудження гідрогенераторів

Рис. 2. Структура первинної ланки головної схеми ГЕС

Втрати (трансформатор + самозбудження) – витрати та втрати на ділянці мережі між лічильниками РЕСА та ГТ, дорівнюють різниці між видачею повної потужності та видачею за лічильниками ГТ, що встановлені після трансформаторів. Слід зазначити, що відхилення втрат за окремими ділянками обумовлене переважно режимними чинниками.

Баланс енергії ГЕС та основні її витрати за технологією гідроенергетичних перетворень зафіксовано на рівні відкритого розподільчого пристрою (ВРП), що фактично є вихідним для електричної станції. Баланс енергії ВРП ГЕС та структуру розподілу її потоків наведено в табл. 2.

До наведених даних слід зазначити наступне.

Прийнята енергія лініями 154 кВ та 330 кВ – це енергія, що фактично була вироблена станцією за даний період.

Власні потреби – це енергія, яку використано на власні потреби станції з шин ВРП 154 кВ через трансформатори власних потреб.

Таблиця 1. Розподіл енергії між генераторами та трансформаторами

Генератор	Повна енергія; РЕСА – кВА·год(S)	Енергія за лічильниками ГТ, кВА·год(S)	Втрати, кВА·год	Втрати, %
Г1	15 375 682	14 731 522	644 160	4,19
Г2	14 947 806	14 402 952	544 854	3,65
Г3	13 009 568	12 436 961	572 607	4,40
Г4	21 788 751	21 266 678	522 072	2,40
Г5	8 893 184	8 676 391	216 793	2,44
Г6	18 322 552	17 487 483	835 069	4,56
Г7	19 071 718	18 068 817	1 002 902	5,26
Г8	17 547 884	16 641 407	906 477	5,17
Г9	24 113 457	23 567 447	546 010	2,26
Разом	152 833 555	147 156 716	5 676 839	3,71

Видана енергія – це енергія, що відпущена з шин ВРП. Споживачі міської мережі – енергія, яку одержали сторонні користувачі, під’єднані до шин власних потреб.

Основні витрати ВРП, що обумовлюють загальний ККД ГЕС наведено в табл. 3.

До наведених даних слід зазначити наступне.

Разом видано – це сума виданої з шин ВРП енергії, за винятком власних потреб; дорівнює сумарних значень енергії, спожитої міською мережею та виданою по шинах 154 та 330 кВ.

З аналізу витікає, що найбільші втрати енергії припадають на розподільний пристрій та втрати в ланці трансформатор-генератор, що складаються з витрат на самозбудження генератора та втрат у трансформаторі. Загалом витрати складають 5 % від кількості енергії, що вироблена гідрогенераторами.

Загальний ККД процесу перетворення визначається як

$$\eta = W_{\Gamma} / W_{\text{В}}$$

де  $W_{\Gamma}$  – енергія генерування;  $W_{\text{В}}$  – енергія технологічних втрат.

Таким чином визначений загальний ККД ГЕС в умовах динамічного резерву потужностей системи становить щонайменше 95,12 % й відображає наявність резервів.

Слід зазначити, що наведена цифра відображає переважно статичні чинники ефективності в роботі гідроенергетичного обладнання.

Однак існуючі динамічні складові перехідних процесів додатково суттєво знижують ефективність роботи енергетичних перетворювачів ГЕС. Слід зазначити, що число робочих циклів обладнання ГЕС протягом останніх років

суттєво зросло й має стійку тенденцію до зростання. Так гідроагрегати ДніпроГЕС за останні роки вже подолали відмітку 5000 робочих циклів на рік й досить швидко наближаються до значень, що перевищують 8000 циклів. Це означає, що час сталої роботи агрегату, для якої визначено й нормовано практично всі робочі характеристики обладнання, неупинно скорочується, а динамічна складова зростає.

При цьому, в динамічному режимі ККД гідравлічної частини змінюється вагоміше, майже на 25 %. Як відомо, 1 % втрат на первинному перетворювачі суттєво більш вагомий, ніж той же 1 % на вторинному джерелі, яким є гідрогенератор, оскільки він у цьому випадку не складає а примножує втрати. Значну роль в цьому відіграють динамічні якості систем управління швидкістю й напругою гідроагрегату.

Тому за основний напрямок обрано аналіз чинників, що визначають їх якісні характеристики. Визначено основні підходи до модернізації системи збудження гідрогенератора й технічні заходи, що мають суттєво змінити динамічні якості його збудження. Для цього розроблено метод вимірювань зміни напруги та змінено структуру відповідного регулятора. Важливою складовою визнано необхідність модернізації та розширення технічних й функціональних можливостей системи моніторингу.

Проведено також аналіз витоків аварії на Саяно-Шушенській ГЕС потужністю 6,4 ГВт. Розглянуто декілька робочих версій можливих причин цієї техногенної катастрофи, в тому числі гідроелектродинамічної й вібраційної природи, що вважаються продуктивними. Як зазначено, одним з визнаних витоків зазначеної аварії вважається саме використання агрегатів СШ ГЕС в неприйнятних для них режимах експлуатації з суттєвою динамічною складовою, що важливо й для вітчизняної гідроенергетики.

**Таблиця 2.** Баланс енергії на ВРП 154 та 330 кВ, кВАгод

Прийнято енергії лініями 154 кВ		Прийнято енергії лініями 330 кВ	Власні потреби	Видано енергії		Споживачі міської мережі
				154кВ	330кВ	
Актив.	Реактив.			Актив.	Актив.	Актив.+ Реактив.
4 431 319	23 629 800	11 094 600	798 912	187 349 624	65 333 400	72 925
		99 660 000			1 966 800	
			З них втрати в трансформаторі власних потреб			
			39524			

**Таблиця 3.** Розподіл витрат на ВРП 154 та 330 кВ

Разом видано, кВА·год	Разом прийнято, кВА·год	Власні потреби, кВА·год	Сумарна видача станції, кВАгод	Втрати ВРП разом з АТ, кВА·год	Втрати ВРП, %	Частина від Σ втрат з ВРП, %	ККД ГЕС, %
254 722 749	115 185 919	798 912	138 737 918	49 582 557	3,97	50,23	95,12

Слід також зазначити, що термін гарантованої роботи й ресурсу системи керування ДніпроГЕС теж практично вичерпаний [5]. Вона потребує модернізації з урахуванням саме системної складової. Це підвищує важливість та своєчасність одержаних результатів.

Одним з важливих напрямів модернізації є системи управління гідроенергетичними агрегатами з урахуванням динамічних чинників та підвищенням енергетичної ефективності перехідних процесів. Це дозволило, в тому числі, визначити проблемні ділянки процесу збудження й пропонувати відповідні технічні рішення, що фактично долають інерційність кола збудження гідроенергетичних агрегатів ГЕС. Розроблені рішення можливо використовувати й на інших енергетичних об'єктах.

Тому зазначене дослідження є своєчасним та важливим, спрямоване на системні підходи до основних процесів, має надати практичні можливості поліпшення технічних та технологічних характеристик обладнання з погляду сучасних вимог, надати потрібний імпульс розвитку важливій екологічній галузі енергетики, що й до того розвивалася, але здавалася досить сталою й консервативною.

## ВИСНОВКИ

1. Найбільші втрати припадають на долю ВРП та системи збудження гідроенергетичних агрегатів, що мають досить низькі динамічні характеристики.

2. Суттєві втрати припадають також на долю проточного тракту та регуляторів, що мають дуже низькі динамічні властивості.

Пожуєв В. І.<sup>1</sup>, Радченко В. В.<sup>2</sup>, Шкрабец Ф. П.<sup>3</sup>, Кучер В. Г.<sup>4</sup>, Кобець В. А.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Д-р. физ.-мат. наук, профессор, ректор, заслуженный работник образования Украины, Запорожская государственная инженерная академия, Украина

<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, Запорожская государственная инженерная академия, Украина

<sup>3</sup>Д-р. техн. наук, профессор, академик Академии наук высшей школы Украины, Днепропетровский национальный горный университет, Украина

<sup>4</sup>Директор, Днепропетровская ГЭС, Запорожье, Украина

<sup>5</sup>Ведущий инженер участка высоковольтных испытаний и измерений, Днепропетровская ГЭС, Украина

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Показаны актуальность, состояние проблемы и основные действующие факторы, определяющие рабочую эффективность основного гидроэнергетического оборудования ГЭС. Рассмотрены и классифицированы основные составляющие эффективности затрат энергии в технологических системах выработки электрической энергии. Отражены влияния основных составляющих технических и эксплуатационных факторов на уровень эффективности. Приведено обоснование и определено направление исследования рабочих факторов, влияющих на изменение электрических параметров гидроагрегата. Предложены пути повышения эффективности работы действующего оборудования ГЭС. Приведенные данные могут быть использованы при модернизации гидроэнергетических преобразователей энергии.*

**Ключевые слова:** энергетический преобразователь, гидроагрегат, гидравлическая электростанция, мощность, управление, эффективность, модернизация.

Pojuev V. I.<sup>1</sup>, Radchenko V. V.<sup>2</sup>, Skrabets F. P.<sup>3</sup>, Kucher V. G.<sup>4</sup>, Kobets V. A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>D. ph-m. s., professor, rector, deserved worker of formation of Ukraine, Zaporozhia state engineering academy, Ukraine

<sup>2</sup>D. of ph., associate professor, Ukraine

<sup>3</sup>D. t. of s, professor, academician of Academy of sciences of high school of Ukraine, Dnepropetrovsk national mountain university, k. renewable energy sources, Ukraine

<sup>4</sup>Director, Dnepr HES, Zaporozhia, Ukraine

<sup>5</sup>Leading engineer of area of tests of high-voltages and measurings, Dnepr HES, Ukraine

### DEFINITION OF EFFICIENCY OF EXISTING HYDROPOWER SYSTEMS

*The urgency, problem condition and the basic operating factors defining working efficiency of the basic hydropower equipment of HYDROELECTRIC POWER STATION are shown. The basic components of energy expenses efficiency in*

3. Втрати на перехідних режимах безпосередньо пов'язані з гідро електродинамікою робочих процесів.

4. Динамічні складові суттєво визначають ефективність роботи гідроагрегатів ГЕС.

5. Основний напрям модернізації обладнання ГЕС має враховувати стрімке зростання динамічних робочих складових енергетичного обладнання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожуєв В. І. Методи математичної фізики / В. І. Пожуєв. – Запоріжжя : ЗДІА, 2007. – 162 с.
2. Радченко В. В. Автоматизація процесів у гідроенергетиці / В. В. Радченко // Впровадження нових інформаційних технологій навчання : тези доп. конф. – Запоріжжя, 2004. – С. 291.
3. Радченко В. В. Автоматизація гідроенергетичних процесів / В. В. Радченко // Впровадження нових інформаційних технологій навчання : тези доп. V ВНМК. – Запоріжжя, 2005. – С. 291–293.
4. Шкрабец Ф. П. Автоматический контроль изоляции распределительных сетей / Ф. П. Шкрабец // Электрический журнал. – 2006. – № 1. – С. 3–7.
5. Кучер В. Г. Про реконструкцію обладнання Дніпровської ГЕС / В. Г. Кучер, Н. В. Голубєв // Гідроенергетика України. – 2008. – № 1. – С. 19–20.

*Стаття надійшла до редакції 29.03.2013.*

*Після доробки 01.07.2013.*

*technological systems of electric energy development are considered and classified. Influences of the basic components of technical and operational factors on efficiency level are reflected. The substantiation is performed and the direction of the working factors research affecting the change of the hydrounit electric parameters is defined. Ways of an overall performance increase of the operative equipment of HYDROELECTRIC POWER STATION are offered. The cited data can be used at modernisation of energy hydropower converters*

**Keywords:** *the power converter; the hydrounit, hydraulic power station, losses, management, efficiency, modernisation.*

## REFERENCES

1. Pozhuev V. I. *Metodi matematichnoi fiziki*, Zaporizhzhja, ZDIA, 2007, 162 p.
2. Radchenko V. V. *Avtomatizacija procesiv u gidroenergetici. Vprovadzhennja novih informacijnih tehnologij navchannja: tezi dop. Konf. Zaporizhzhja*, 2004, p. 291.
3. Radchenko V. V. *Avtomatizacija gidroenergetichnih procesiv. Vprovadzhennja novih informacijnih tehnologij navchannja: tezi dop. V VNMK. Zaporizhzhja*, 2005, pp. 291–293.
4. Shkrabec F. P. *Avtomaticheskij kontrol' izoljacji raspreditel'nyh setej*, *Elektrichnij zhurnal*, 2006, No. 1, pp. 3–7.
5. Kucher V. G., Golubev N. V. *Pro rekonstrukciju obladnannja Dniprovs'koï GES. Hidroenergetika Ukraini*, 2008, No. 1, pp. 19–20.