

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Quinn C.A. Active filtering of harmonic currents in three-phase four-wire systems with three-phase and single-phase non-linear loads / C. A. Quinn, N. Mohan // Proc. APEC 92. – 1992. – P. 829 – 836.
2. Шрейнер Р. Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов // Электричество. – 2000. – № 2. – С. 46 – 54.
3. Волков А.В. Энергосберегающая система электропитания на основе активного фильтра для автоматизированных электроприводов / А. В. Волков, В. П. Метельский, В. А. Волков // Тем. вип. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Львів : Електроінформ. – 2009. – С. 153–154.
4. Волков А. В. Компенсация мощности искажений и реактивной мощности посредством активного фильтра с прогнозируемым релейным управлением / А. В. Волков, В. А. Волков // Электротехника. – 2008. – № 3. – С. 2–10.
5. Bor-Ben L. Three-phase quality compensator under the unbalanced source and non-linear loads / L. Bor-Ben, L. Yung-Chuan // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2004. – Vol. 51. – N 5. – P. 1009–1017.
6. Энергоэффективность коррекции фазы тока и компенсации пульсаций активной и реактивной мощности в трехфазной системе электроснабжения / [Г. Г. Жемеров, И. Ф. Домнин, О. А. Ильина, Д. В. Тугай] // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 1. – С. 52–57.
7. Волков В. А. Снижение сетевых потерь мощности посредством симметрирования сетевых фазных токов активным фильтром / В. А. Волков // Вісник КДУ. – 2010. – Вип. 3 (62). – Ч. 2. – С. 61–64.

Стаття надійшла до редакції 17.06.2010 р.

Метельський В.П., Волков В.О. Оцінка загального енергозбереження у трьохфазних мережах змінної напруги при симетруванні фазних струмів мережі силовим активним фільтром  
*В результаті аналізу шляхів зниження втрат потужності мережі при симетруванні фазних струмів мережі отримано аналітичні залежності, які дозволяють оцінити можливість зниження енергоспоживання в трипровідній і чотирипровідній мережі змінної напруги за допомогою використання для симетрування силового активного фільтра.*

**Ключові слова:** силовий активний фільтр, трифазна мережа змінної напруги, мережні втрати потужності, симетрування фазних струмів мережі.

Metel'sky V., Volkov V. Estimation of general energy-savings in three-phase ac power circuits by balancing phase currents using power active filter  
*Analyzing the ways of circuit power loss decreasing by balancing phase currents, the authors obtained analytical relations permitting to estimate power consumption decrease in a three-wire and four-wire ac circuit using a power active filter.*

**Key words:** power active filter, three-phase ac power circuit, circuit power loss, balancing of circuit phase currents.

УДК 658.265:658.27

Ю. Г. Качан, д-р техн. наук, В. Л. Коваленко

Запорізька державна інженерна академія

## ЩОДО ВПЛИВУ ДИНАМІКИ ВТОРИННИХ ВОДОСТОКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Для визначення показників якості електричної енергії, що отримуємо на виході асинхронного генератора, який входить до складу системи гідроенергетичної утилізації, було створено її комп'ютерну математичну модель. Виявлено, що нестабільність водотоку призводить до вироблення електроенергії, яка є неприпустимою для живлення більшості споживачів підприємства.*

**Ключові слова:** показники якості електроенергії, математична модель, гідроенергетична утилізація, промислове підприємство.

## Вступ

Об'єми вторинних водотоків промислових підприємств досить значні [1]. Утилізація ж механічної (потенціальної і кінетичної) енергії води (гідроенергетична утилізація), з подальшим перетворенням її в електричну, може суттєво підвищити їх енергоефективність за рахунок власного вироблення останньої.

Як було визначено в [2], сумарний потік вторинної води, що надходить на гідротурбину, має нестаціонарний характер, його параметри змінюються в часі з певним інтервалом. Очевидно, що така нестабільність може впливати на якісні показники електричної енергії, що виробляється електричним генератором, і її подальше використання в електромережі підприємств для живлення основної маси споживачів ставиться під сумнів. Можлива невідповідність зазначеної електроенергії загальнодержавним стандартам ПЯЕ, які регламентує ГОСТ 13109-97, потребує експериментального підтвердження даного припущення шляхом відповідного моделювання.

## Мета статті

Визначити вплив динаміки вторинного водотоку промислових підприємств, на прикладі конкретного об'єкту гідроенергетичної утилізації, на показники якості електричної енергії, що генерується.

## Математичне моделювання системи

Для аналізу впливу нестабільності потоку вторинної води на енергетичні характеристики систем гідроенергетичної утилізації, а саме показники якості електричної енергії (ПЯЕ), що виробляється, було створено математичну модель такої системи і реалізовано в середовищі Simulink. Вона складається з енергетичного модуля, який представлений асинхронним двигуном 1, що працює в генераторному режимі, і стохастичного генератора витрати води 2 [2] (докладна модель якого зображена на рис. 2), а також допоміжного обладнання: вимірювальних приладів 4 і конденсаторної системи збудження 5. Електрична мережа промислового підприємства моделюється блоком 3 (рис. 1.) Дослідження проводилися на прикладі реального промислового підприємства ВАТ «Запоріжсталь», а саме доменного цеху, де для гідроенергетичної утилізації потоку вторинної води від двох доменних печей була розрахована оптимальна система збору і підібране відповідне обладнання згідно з алгоритмом роботи [3]. Як генератор був використаний двигун потужністю 110 кВт. Останній встановлюється в мікро-ГЕС типу 100 Пр, яка, як правило, є автономним джерелом електричної енергії і не потребує підживлення від мережі. В такому випадку роботу асинхронної машини як генератора можливо забезпечити, якщо подавати в обмотку статора необхі-

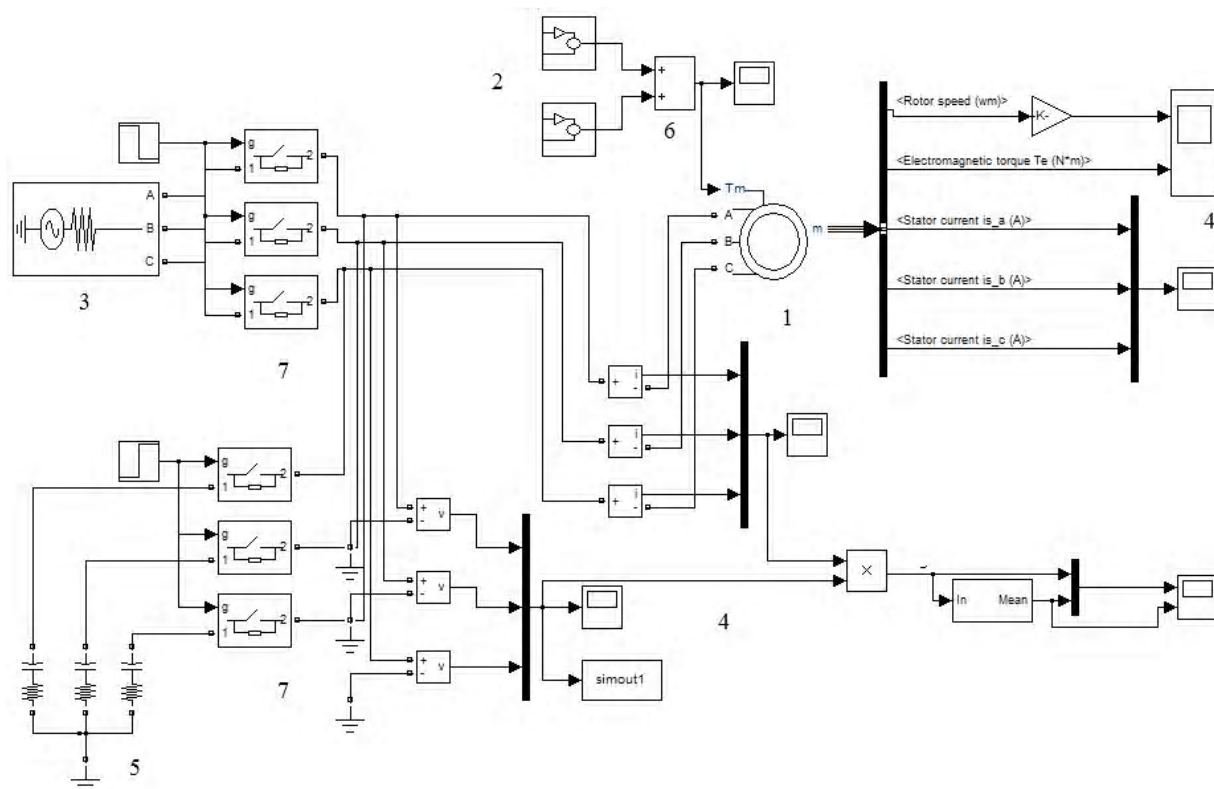


Рис. 1. Модель дослідження роботи системи генерування електроенергії за рахунок вторинних водотоків підприємств

дну реактивну потужність від батареї конденсаторів. В загальному випадку, ємність, необхідна для отримання номінальної напруги асинхронного генератора, може бути визначена за виразом [4]

$$C = P_{ном} \cdot (tg\varphi_2 + tg\varphi_H) / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot U_c^2), \quad (1)$$

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність генератора;  $U_c$  – напруга на конденсаторах;  $f$  – частота струму;  $m$  – кількість фаз;  $\varphi_2, \varphi_H$  – максимальні кути зсуву фаз між напругою і струмами генератора і навантаження. Для даного типу двигуна, згідно формулі (1), достатньо ємності 1065 мкФ на кожен фазу.

Сумарний потік від двох незалежних джерел, який надходить на гідротурбину, моделюється статистичними генераторами, що видають некорельовані послідовності витрати вторинної води 8, блока автокореляції 9 і блока 10, що зсуває величину витрати одного джерела відносно іншого на певний час запізнення  $\tau_{кр}$ , який розраховується згідно роботі [5]. Модель вищезгаданих статистичних генераторів представлена на рис. 2.

Отримана величина витрати з окремих джерел підсумовується за допомогою суматора 6. Таким чином, на вході в гідротурбину маємо реальний потік вторинної води. Також, в системі, що моделюється, передбачена робота АГ як в автономному режимі, так і паралельно з мережею. Для цього використовуються відповідні перемикачі 7 (рис. 1). Дана модель системи гідроенергетичної утилізації дозволяє з достатньою точністю судити про динаміку величин, що отримуємо на виході електрогенератора, таких як величини активної потужності та статорних напруг і струмів. Однак, робота мікро-ГЕС в автономному режимі в даному випадку недоцільна, тому що, по-перше, на промислових підприємствах споживачі мають достатньо велику потужність у порівнянні з потужністю електрогенератора і є можливість їх підключення до мережі, а, по-друге, відсутність конденсаторної системи збудження зменшує вартість системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу взагалі. Основні ж діаграми, що відображають вищезгадані параметри, при роботі генератора на мережу, наведені на рис. 3.

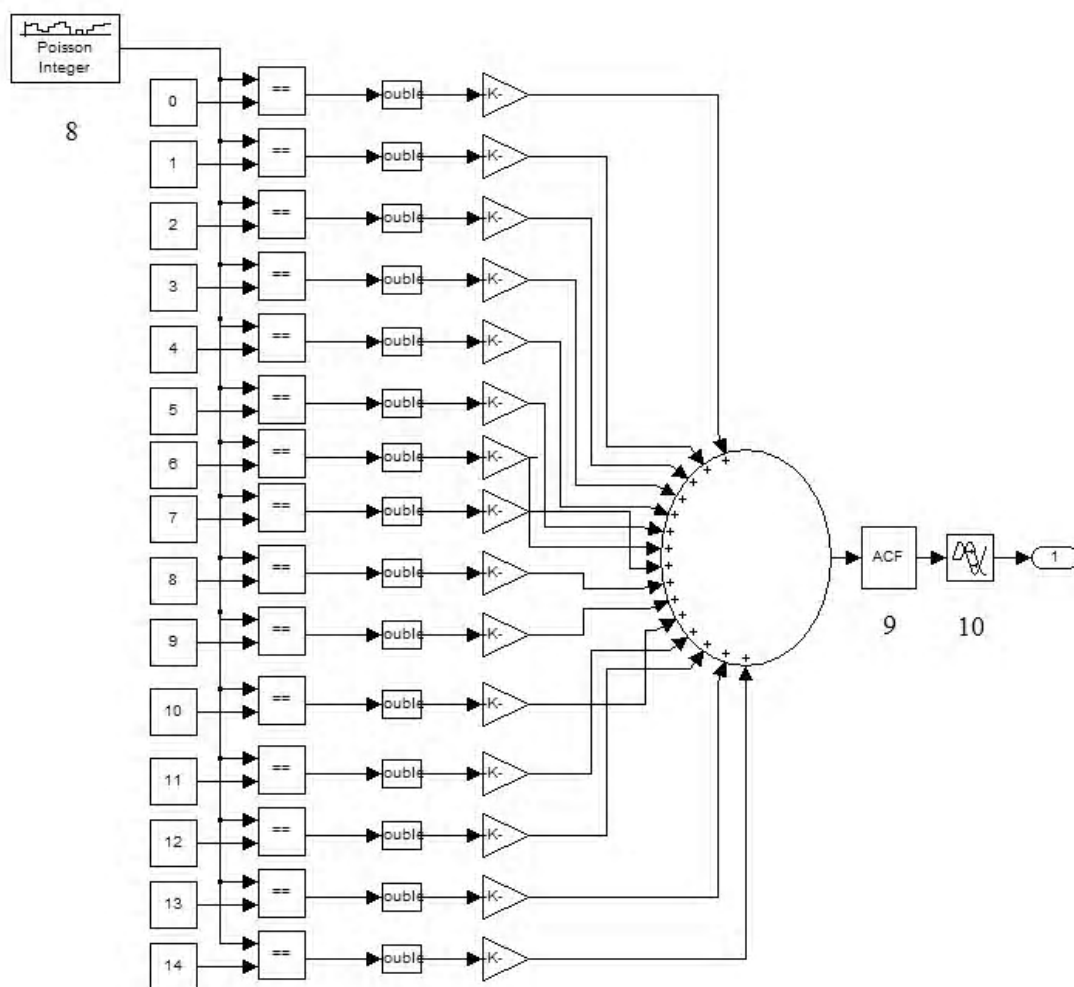


Рис. 2. Модель статистичного генератора витрати вторинної води, реалізований в середовищі Simulink

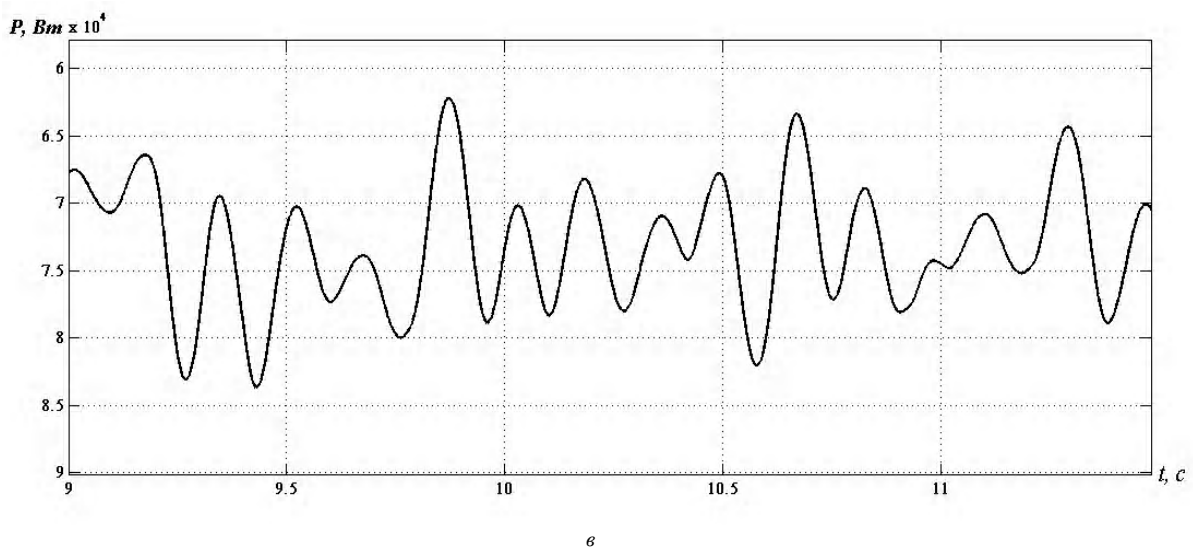
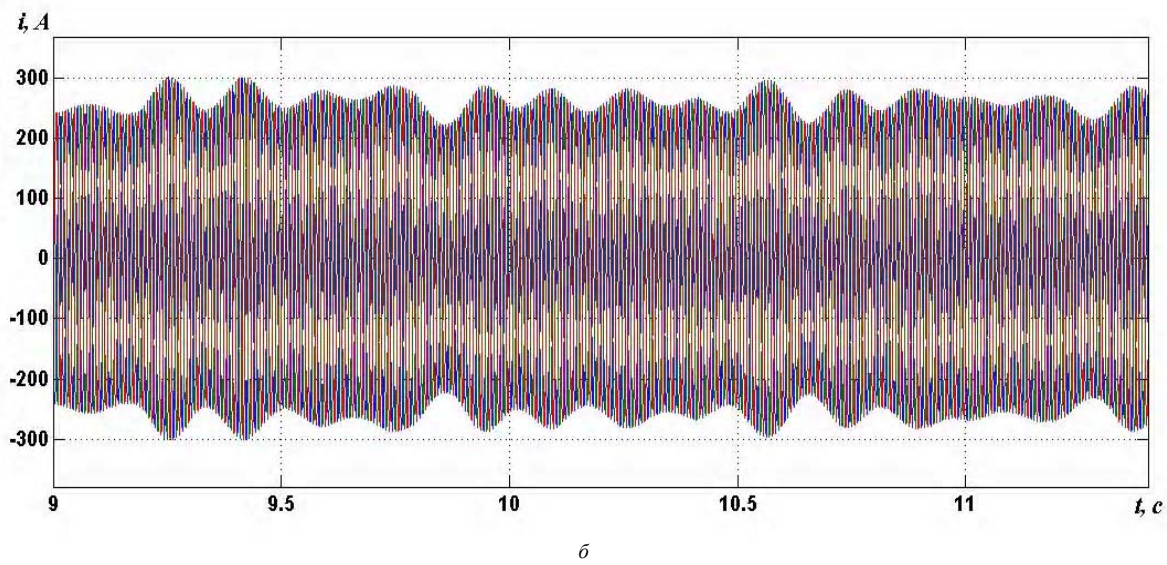
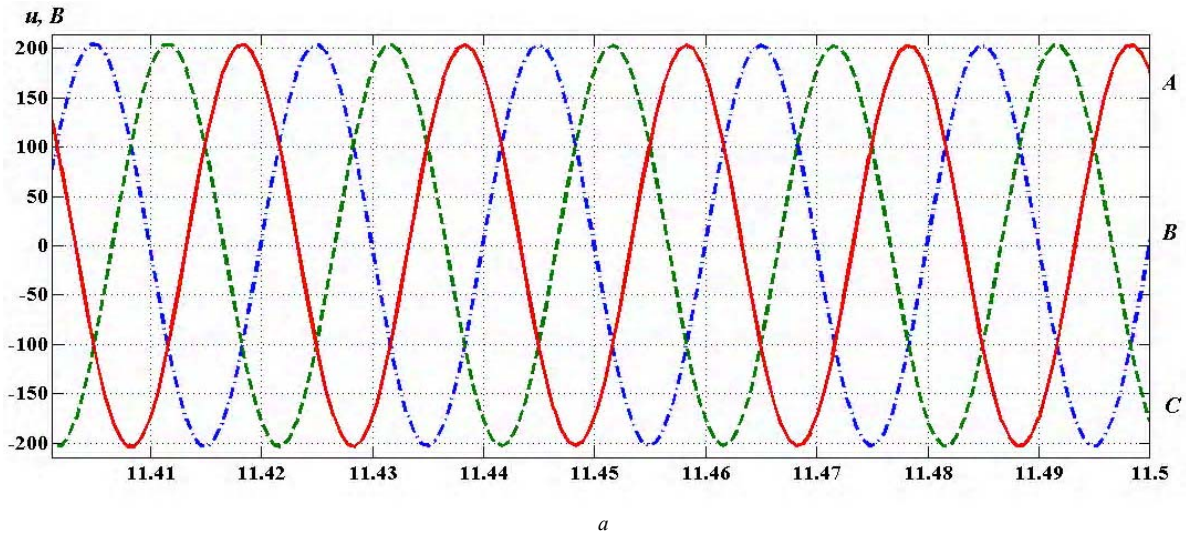


Рис. 3. Динаміка електричних величин на виході АГ при його роботі на мережу:

$a$  – статорні напруги;  $b$  – статорні струми;  $c$  – активна потужність

Оскільки робота указаної системи здійснюється паралельно з симетричною мережею, то, як видно із діаграм, нестаціонарність потоку призводить лише до коливань величини статорних струмів і генерованої активної потужності. При цьому такі параметри, як частота і синусоїдальність, залишаються в межах встановлених норм. Загальна несинусоїдальність за гармоніками склала лише 0,03 % при допустимій 8 %. Середня величина активної потужності, що виробляється, склала близько 82 кВт. Очевидно, що при переході в автономний режим і безпосередньому підключенні до затисків генератора навантаження, дані параметри можуть суттєво змінитися. Наприклад, при активно-індуктивному навантаженні 15 кВт та без системи стабілізації вихідних параметрів електричного генератора отримуюмо такі результати: відхилення за частотою +1,2 Гц (встановлена гранична норма  $\pm 0,4$  Гц), коефіцієнт несинусоїдальності – 13 %.

Відповідно, електричну енергію зазначеної вище якості використовувати для живлення більшості споживачів неприпустимо. Також, у першому випадку коефіцієнт завантаженості електричного генератора є досить низьким, він коливається в середньому в межах 0,7–0,87. Отже, нестабільність потоку призводить до завищення потужності обраних генераторів, а це, в свою чергу, спричиняє збільшення вартості системи гідроенергетичної утилізації взагалі. Тому для уникнення вищезгаданих наслідків необхідне впровадження додаткових технічних заходів, які дадуть змогу застабілізувати потік води і, відповідно, вирішити проблему неповної завантаженості обладнання, тобто вийти на максимально можливу виробничу потужність.

### Висновки

1. При роботі АГ у складі системи гідроенергетичної утилізації паралельно з електромережею підприємства характер потоку вторинної води призводить до значних коливань величини виробітку ним активної потужності і не викликає суттєвого погіршення ПЯЕ. При цьо-

му, генератор впродовж більшості часу є недовантаженим, тобто не достатньо ефективним.

2. Автономний режим мікро-ГЕС без використання засобів стабілізації вихідних параметрів АГ, які складають близько 30 % її вартості, є неприпустимим. Якість згенерованої таким чином електроенергії не відповідає нормам ГОСТ. Відповідно, вона не може бути використана для живлення споживачів підприємства.

3. Вирішення проблеми нестабільності потоку вторинної води, який надходить на гідротурбину, потребує застосування додаткових технічних засобів, що нормалізують його параметри, і внаслідок чого ПЯЕ прийдуть до норми.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Качан Ю. Г. Об оценке потенциала вторичного гидроэнергетического ресурса предприятия / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко // Відновлювана енергетика. Науково-прикладний журнал. – 2009. – № 2. – С. 54–58.
2. Качан Ю. Г. К вопросу прогнозирования расходов вторичных водотоков промышленных предприятий / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко // Відновлювана енергетика. Науково-прикладний журнал. – 2009. – № 3. – С. 45–48.
3. Качан Ю. Г. Алгоритм синтезу оптимальної системи утилізації вторинного гідроенергетичного ресурсу / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко // Науково-технічний збірник «Меліорація та гідротехнічне будівництво». – 2010. – № 34. – С. 72–77.
4. Радин В. И. Электрические машины: Асинхронные машины: Учеб. Для электромех. спец. вузов // Радин В. И., Брускин Д. Э., Зорохович А. Е. – М. : Высш. шк., 1988. – 328 с. : ил.
5. Качан Ю. Г. Щодо впливу динаміки вторинного водотоку на ефективність системи гідроенергетичної утилізації / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук, 2010. – Вип. 62. – Ч. 2. – С. 23–25.

*Стаття надійшла до редакції 13.10.2010 р.*

Качан Ю. Г., Коваленко В. Л. Влияние динамики вторичных водотоков промышленных предприятий на показатели качества сгенерированной электрической энергии

*Для определения показателей качества электрической энергии, получаемой на выходе асинхронного генератора, который входит в состав системы гидроэнергетической утилизации, была создана её компьютерная математическая модель. Установлено, что нестабильность водотока приводит к выработке электрической энергии, недопустимой для питания большинства потребителей предприятия.*

**Ключевые слова:** показатели качества электроэнергии, математическая модель, гидроэнергетическая утилизация, промышленное предприятие

Kachan Yu., Kovalenko V. On the influence of industrial enterprise secondary streams dynamics on the quality of generated electric power

*A computer mathematical model has been developed for determination of electric energy quality obtained at the output of the induction generator which is a part of the hydropower utilization system. It is determined that because of streams instability the generated electric energy is impermissible for energizing most of the enterprise users.*

**Key words:** power quality indicators, mathematical model, hydropower utilization, industrial enterprise.