

УДК 621.226

С. Ф. Артюх, д-р техн. наук, проф.;

І. І. Червоненко, асп.

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ККД ГІДРОАГРЕГАТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗІ ЗМІННИМИ НАПОРАМИ

Показано, що гідроагрегати ГАЕС знижують свою ефективність, працюючи з пониженими напорами. Для вирішення цієї проблеми доцільно перевести ці гідроагрегати на роботу зі змінною частотою обертання. Запропоновано алгоритм та систему управління, які дозволили підтримувати оптимальний ККД гідроагрегатів у разі знижених напорів та відповідних частот обертання.

Вступ

У великих енергосистемах, де значна частина електроенергії виробляється на теплових та атомних електростанціях, відчувається гострий дефіцит маневрених потужностей. В свою чергу ГАЕС є дуже маневреними електростанціями, які дозволяють вирішувати проблеми покриття піків та заповнення нічних провалів навантаження і приймати участь в регулюванні частоти в енергосистемах. ГАЕС — це не лише джерело енергії, а й джерело надання системних послуг, що сприяють як оптимізації добового графіка навантаження, так і покращенню надійності і якості електропостачання.

Саме через це останнім часом гідроакмулюючі електростанції викликають велику зацікавленість у енергетиків усього світу.

Матеріали дослідження

Особливістю ГАЕС є те, що і в турбінному, і в насосному режимі їх роботи напір змінюється від 5 до 20 метрів. Як видно із залежності ККД від напору (рис. 1), найефективніший оптимальний, режим роботи гідроагрегату досягається тільки за номінальних значень напору і витрат води, а у разі їх зміни ККД гідроагрегатів суттєво знижується.

Нижче наведена формула розрахунку ККД гідротурбіни:

$$\eta_T = \frac{M \cdot n}{\gamma \cdot Q \cdot H}, \quad (1)$$

де Q — витрати води через турбіни, м³/с; H — напір, м; η — ККД обладнання; M — обертальний момент на валу турбіни, Нм; n — частота обертання турбіни, хв⁻¹; γ — густина води, г/см³ або кг/м³. Проаналізувавши всі параметри руху потоку на виході з направляючого апарату та в середині робочого колеса, нехтуючи

втратами енергії в проміжку між направляючим апаратом та робочим колесом і підставляючи ці величини у рівняння Ейлера, можна розв'язати його відносно витрат Q . Як показують проведені розрахунки, загальна залежність витрат води від частоти обертання для реактивних бін може бути подана в такому вигляді [1, 2]:

$$Q = A \cdot n + \frac{B \cdot \eta_T}{n}, \quad (2)$$

де A та B — константи для заданого напору.

Це означає, що для кожної частоти обертання із заданим напором, є таке значення витрат води, що визначає оптимальний для цього режиму ККД (рис. 2)

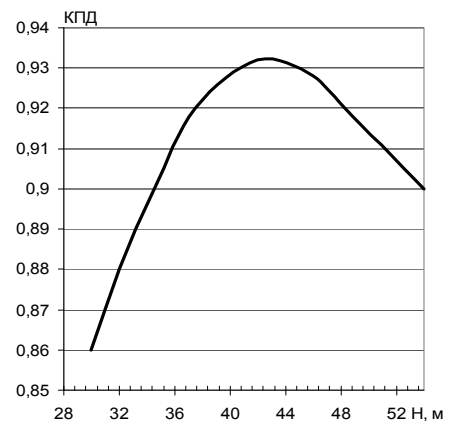
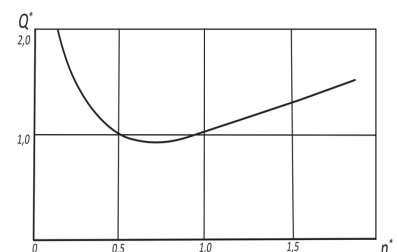


Рис. 1. Залежність ККД від напору

Рис. 2. Залежність витрат води від частоти обертання гідроагрегату для $H = \text{const}$

На підставі цих залежностей, а також приймаючи до уваги універсальні характеристики, оберненої гідротурбіни ОРО 75/5219–50, показана можливість підвищення ККД вищезазначеного гідроагрегату в межах реального коливання напору. Результати виконаних розрахунків показані на рис. 3.

Як видно з рис. 3, у згаданій вище турбіні, яка буде працювати з несинхронною частотою обертання у разі коливання напору, можна реально підвищити ККД від 2 до 5 %.

При цьому виникає проблема, яка зводиться до того, що для будь-якої несинхронної частоти обертання гідроагрегату частота струму на шинах станції має бути 50 Гц. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування асинхронізованого синхронного генератора [3].

Теоретично доведено, що під час переходу на змінну частоту обертання ми маємо змогу досягти оптимального коефіцієнта корисної дії для кожного значення частоти обертання турбіни із заданим напором. Це потребує розробки спеціальної системи автоматичного керування гідроагрегатом, яка б включала регулювання електромеханічної потужності генератора та корекцію відкриття направляючого апарату для досягнення оптимальних витрат води для режиму, коли відомо напір та частоту обертання генератора.

Авторами розроблено алгоритм управління оптимальними режимами ККД при несинхронних частотах обертання гідроагрегату. Цей алгоритм показано на рис. 4.

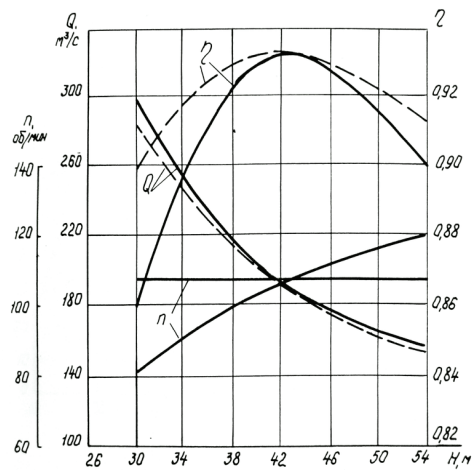


Рис. 3. Залежності ККД, частоти обертання та витрат води від напору

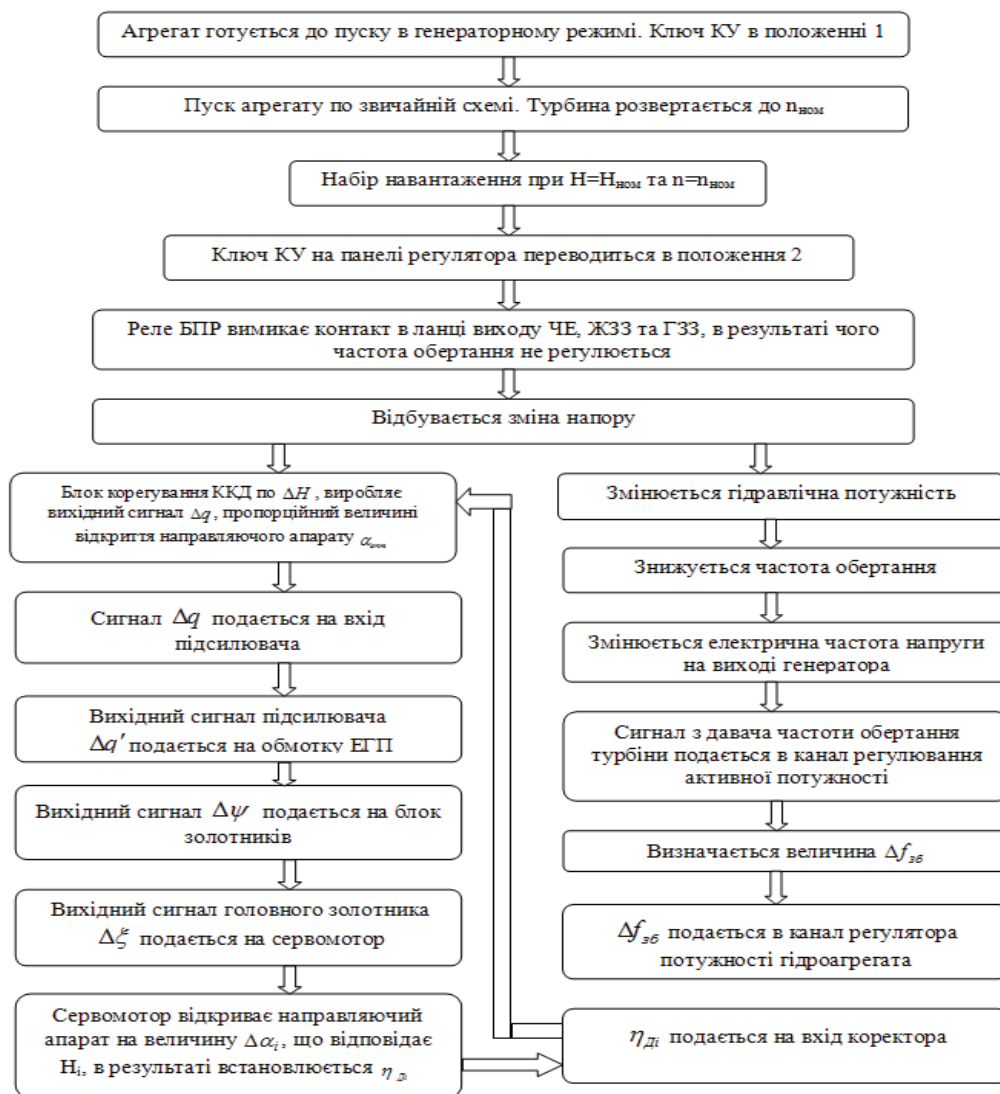


Рис. 4. Алгоритм управління оптимальними режимами ККД

На основі розробленого алгоритму була синтезована структурна схема системи автоматичного керування гідроагрегатами ГАЕС, які мають в своєму складі радіально-осьові турбіни та асинхронізовані синхронні генератори. Структура такої системи для режиму підтримки оптимальних ККД у разі зміни напору та частоти обертання показана на рис. 5.

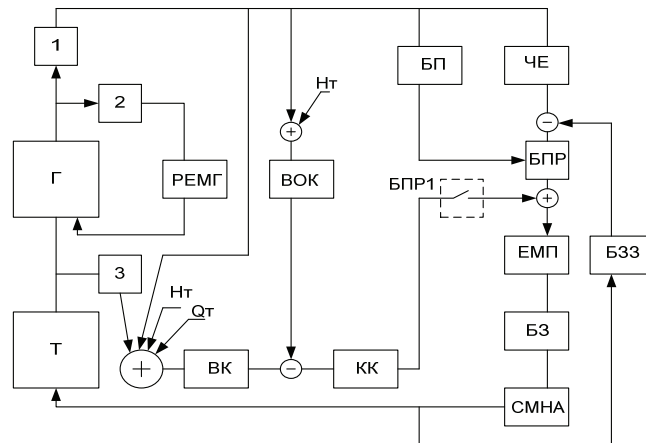


Рис. 5. Структура регулятора: Г — генератор; Т — турбіна; 1 — давач частоти обертання гідроагрегату; 2 — давач електричної потужності генератора; 3 — давач моменту обертання на валу гідротурбіни; РЕМГ — регулятор електромагнітної потужності генератора; ВК — вимірювач ККД турбіни; ВОК — визначник оптимального ККД турбіни; КК — коректор ККД; БП — блок похідної частоти обертання агрегату; ЧЕ — чутливий елемент; БПР — блок перемикання режимів; БПР1 — контакт БПР; ЕМП — електромагнітний перетворювач; БЗ — блок золотників; СМНА — сервомотор направляючого апарату; БЗЗ — блок зворотних зв'язків

Показані на схемі величини H_T і Q_T означають, відповідно, напір, з яким працює турбіна, та діюча витрата води при цьому напорі, які отримуються від відповідних давачів ГАЕС.

Проведені розрахунки показують, що застосування такої системи для агрегатів Київської ГАЕС, тільки у разі їх роботи в генераторному режимі, дало б змогу підвищити їх ККД на 4 %, що, зважаючи на загальну потужність станції 235 МВт, додало б 13 МВт потужності.

Висновки

1. Для гідроагрегатів, які працюють зі змінними напорами, до яких відносяться агрегати ГАЕС, притаманне зниження ККД у разі зниження цих напорів. Для зменшення втрат у разі зниження напорів цих гідроагрегатів доцільно переводити їх в режим роботи зі змінною частотою обертання.

2. Запропоновано алгоритм і структуру системи автоматичного керування гідроагрегатами ГАЕС зі змінною частотою обертання, яка забезпечує установку і підтримання оптимального ККД для відповідного рівня напору та частоти обертання турбіни.

3. Розрахунки показують, що застосування таких систем для енергоблоків ГАЕС в складі радіально-осьових гідротурбін та асинхронізованих синхронних генераторів, дозволяє підвищити ККД гідроагрегатів, у разі зміни їх напорів, на 2—5 %, що дає суттєве доповнення до виробки електричної енергії на таких станціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артюх С. Ф. Анализ целесообразности агрегатов электростанции в режиме переменной частоты вращения / С. Ф. Артюх // Энергохозяйство за рубежом. — 1988. — № 3. — С. 30—33.
2. Sheldon L. N. An analysis of the benefits to be gained by using variable speed generators on Francis Turbines / L. N. Sheldon // Hydro Applications USSR, Denver Federal Center, May 24—26, 1983. — P. 201—208.
3. Шакарян Ю. Г. Асинхронизированные синхронные машины / Ю. Г. Шакарян. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 192 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013
Рекомендована до друку 11.11.2013

Артюх Станіслав Федорович — професор, **Червоненко Іван Ігорович** — аспірант.
Кафедра електричних станцій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків