

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК ШИРОКОГО ДІАПАЗОНУ ПОТУЖНОСТЕЙ ПРИ РОБОТІ НА ЧАСТКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

О. С. Тарахтій, Д. С. Єдалов

Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. У статті розглядається можливість використання газотурбінних енергетичних установок при роботі на часткових електричних навантаженнях. Такий варіант використання газотурбінних установок може допомогти зменшити нерівномірність між виробництвом і споживанням електричної енергії. Проведено аналіз динамічних властивостей і характеристик газотурбінних установок (ГТУ) широкого діапазону потужностей: установки малої, середньої та великої встановленої потужності. Наведено результати моделювання динамічних характеристик газотурбінних установок малої, середньої та великої потужності при зміні електричного навантаження. Проаналізовано зміну якості перехідних процесів регулювання частоти обертання ротора газотурбінної установки під час роботи на часткових електричних навантаженнях (100%, 75% і 50%) порівняно зі встановленою потужністю.

Ключові слова: газотурбінна установка, часткове електричне навантаження, динамічні характеристики, перехідні процеси регулювання, показники якості регулювання.

Вступ

Складні обставини, в яких змушена працювати енергосистема України потребують прийняття системних рішень. Внаслідок ракетних обстрілів енергосистемі було завдано значної шкоди. Цей факт ще більше ускладнює нівелювання існуючої добової невідповідності між виробництвом та споживанням електричної енергії в енергосистемі нашої країни. Під час опалювального періоду навантаження на енергосистему суттєво збільшується, блоки електростанцій завантажені на повну потужність, може виникати дефіцит електроенергії в енергосистемі. Однією з головних задач вирішення цієї складної проблеми – є збільшення обсягів генерації енергії. У порівнянні із довоєнними роками, потужність атомної генерації знизилася на 44%, гідроенергетична потужність – на 29%, а потужність відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – на 24%. У даний час основним джерелом генерації електричної енергії – є атомні електростанції [1].

1. Обґрунтування проблеми

У довоєнний час енергоблоки атомних електростанцій України в основному використовувалися для покриття базового навантаження у добовому графіку навантаження енергосистеми (рис. 1). Ядерний реактор може працювати із заданою потужністю протягом тривалого часу тільки в тому разі, якщо на початку роботи має запас реактивності. Наразі маневрування потуж-

ністю реакторної установки здійснюється операторами в ручному режимі і тільки на вимогу диспетчерів енергосистеми. Таке виконання маневру є досить небезпечним, оскільки потребує врахування зміни багатьох нейтронно-фізичних і технологічних параметрів, а це, у свою чергу, може призвести до впливу людського фактора на безпеку АЕС. [2].

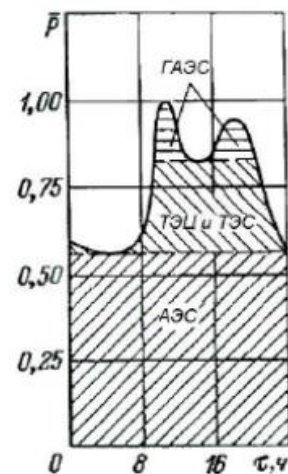


Рис. 1. Графік навантаження енергосистеми: τ – години доби; \bar{P} – споживана потужність

Під час переведення енергоблоку з одного рівня потужності на другий відбувається часте переміщення регулюючої групи органів регулювання системи управління і захисту реактору, а це, у свою чергу, викликає швидке зношення і можливе руйнування цілісності оболонки ТВЕЛ реактора, а також скорочує ресурс оболонки реа-

ктора і вигорання палива [3,4]. З метою уникнення впливу цих негативних факторів при маневруванні використовують різні методи щодо забезпечення довговічності реактору і перевстановлення тепловидільних збірок для подовження ресурсу. Але все це тимчасові міри, які впливають на надійність і стійкість роботи реактору [3].

Використання маневрових енергетичних газотурбінних установок (ГТУ) середньої та великої потужності може допомогти вирішити вищепризначену проблему нерівномірності в енергосистемі. Головною перевагою газотурбінного двигуна є невеликий час виходу ГТУ на задану потужність і дуже низька інерційність при роботі у перехідних режимах.

Другою перевагою використання газотурбінних установок є можливість створення розподіленої системи генерації електричної енергії, що дозволяє підвищити надійність електропостачання і зменшити втрати потужності при транспортуванні електричної енергії через ЛЕП. Такий варіант побудови енергосистеми України дозволить зменшити шкоду від ракетних обстрілів завдяки розподіленості джерел генерації енергії.

2. Роботу ГТУ на змінних режимах

Змінні режими роботи ГТУ можуть бути викликані декількома зовнішніми причинами. Перша – необхідність змінення потужності, яка виробляється ГТУ, при зміні споживаної потужності. Таке явище зазвичай спостерігається у автономній системі, де ГТУ слугує приводом для електричного генератора, який працює на автономну електричну мережу. Друга причина – це зміна атмосферних умов, особливо температури повітря, яке забирається компресором. Таким чином, основною задачею управління ГТУ є забезпечення заданої потужності і частоти обертання ротора при будь-яких атмосферних умовах.

Розглянемо роботу газотурбінного двигуна на прикладі одновальної ГТУ (рис. 2), яка призначена для приводу електрогенератора при постійній частоті обертання ротора.

Така схема дуже розповсюджена, наприклад, на ТЕС в якості самостійного двигуна для покриття пікових навантажень і у складі парогазових установок різного типу. Також будемо вважати, що компресор, камера згорання і газова турбіна мають незмінний перетин у газоповітряному тракту. Для одновальної ГТУ простого типу з незмінними перетинами в проточній частині та за даних атмосферних умов є єдиний спосіб змінити режим її роботи – це зміна витрати палива

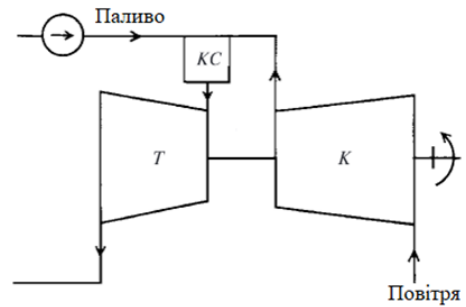


Рис. 2. Схема простої одновальної ГТУ:
КС – камера згорання; Т – турбіна;
К – компресор

шляхом впливу на клапан, що подає паливо (рідке або газоподібне) в камеру згорання.

2.1. Динамічні процеси, що протікають в ГТУ при зміні потужності

Проаналізуємо динамічні процеси, що відбуваються у газотурбінному двигуні, під час зміни потужності. Уявимо, що наша ГТУ у вихідному стані працює на номінальній потужності і нам треба її зменшити. Для цього ми прикриваємо регулюючий клапан і знижуємо витрату палива до камери згорання. Після зниження витрати палива температура газів за камерою згорання зменшується і, відповідно знижується тиск газів перед газовою турбіною і, як наслідок знижується тиск повітря після компресору. Оскільки частота обертання валу ГТУ залишається незмінною, то відповідно до витратної характеристики компресора (рис.3) витрата повітря дещо збільшується.

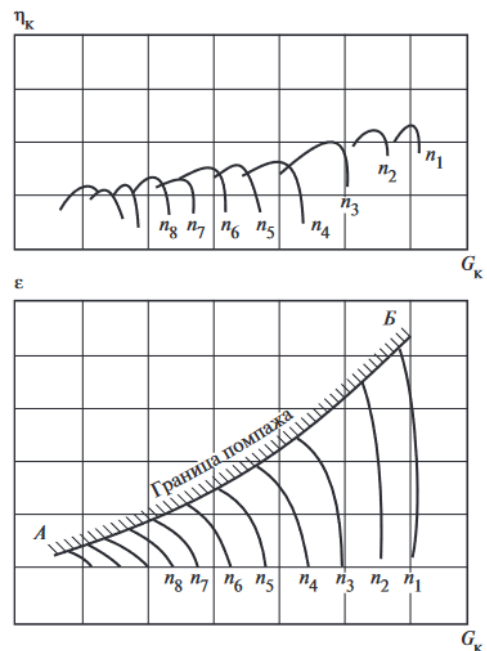


Рис. 3. Характеристики багатоступінчастого осьового компресора

Таким чином, зменшення витрати палива з метою зниження потужності в ГТУ цього типу призводить до збільшення витрати повітря, зниженню температури газів після камери згоряння і перед газовою турбіною. Все це призводить до зниження економічності роботи газотурбінної установки.

Коефіцієнт корисної дії газотурбінної установки даного типу визначається залежністю:

$$\eta = \eta(T_c/T_a, \varepsilon, \eta_T, \eta_K) \quad (1)$$

де T_c – початкова температура газів перед турбіною; T_a – початкова температура повітря перед компресором; ε – відношення тисків в компресорі та газовій турбіні; η_T – ККД газової турбіни; η_K – ККД компресора.

Цей вираз справедливий (з несуттєвими уточненнями) не тільки для номінального, але і для перехідного режиму. У розглянутому випадку всі параметри у виразі (1) змінюються таким чином, що це призводить до зниження ККД. Найсуттєвіший вплив на зниження ККД оказує зменшення початкової температури газів T_c і відношення тисків ε . Вплив цих параметрів на коефіцієнт корисної дії відображено на рис. 4 і рис. 5.

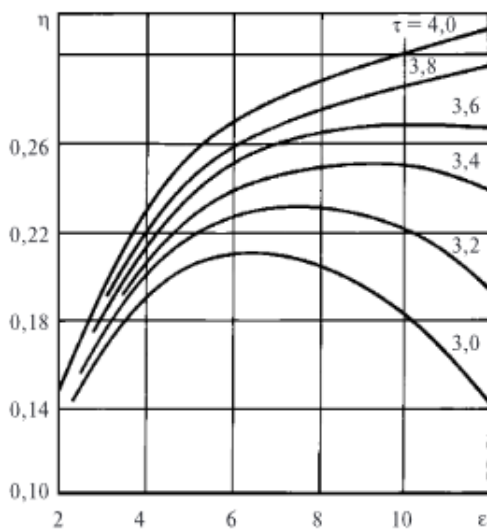


Рис. 4. Графік залежності ККД простої ГТУ від відношень тисків і температур

При часткових навантаженнях газотурбінної установки також знижуються значення коефіцієнтів корисної дії газової турбіни η_T і компресора η_K , що в цілому знижує ККД всієї установки ГТУ.

Такий спосіб змінення потужності газотурбінної установки називають якісним регулюванням, який є не дуже економічним і відбувається в основному за рахунок зниження корисної роботи ГТУ. Це впливає з рівняння потужності ГТУ $N = GH$, де G – витрата робочого середовища, H – корисна робота ГТУ.

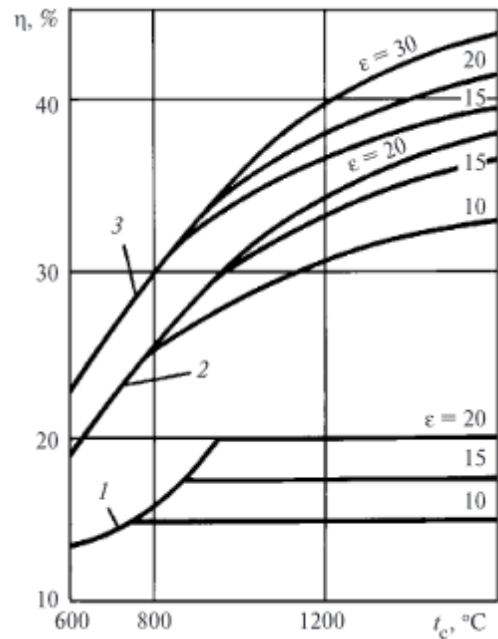


Рис. 5. Вплив початкової температури газу на оптимальне відношення тисків (криві 1) і на ККД (криві 2 і 3) для газотурбінної установки простої схеми

Інший спосіб регулювання потужності носить назву кількісного регулювання, при якому змінюється лише витрата робочого тіла, а температура і величини $\varepsilon, \eta_T, \eta_K$ залишаються незмінними або близькими до постійних значень. Таким чином при кількісному регулюванні ККД газотурбінної установки залишається близько розрахункового (номінального) значення.

Кількісне регулювання в ГТУ відкритого процесу не може бути реалізовано в чистому вигляді, це відбувається через те, що один із тисків у циклі – атмосферний і взагалі не залежить від режиму ГТУ.

Однак можна реалізувати проміжний випадок, коли під час часткових режимів потужність змінюється не тільки завдяки зміні H , а й також унаслідок зміни витрати середовища G . Очевидно, що економічність ГТУ на часткових навантаженнях тим вища, чим значніше вдається скоротити витрату середовища, тобто зменшити витрату повітря через компресор за відповідної потужності ГТУ.

У сучасних ГТУ простого типу це досягається застосуванням поворотних направляючих апаратів компресора: лопатки вхідного направляючого апарата, а також іноді й направляючі лопатки кількох перших ступенів компресора мають механізм приводу, що забезпечує одночасний поворот усіх лопаток кожного вінця відносно їхніх осей. При цьому змінюється прохідний перетин напрямного апарату. У такий спосіб

вдається змінювати витрату повітря через компресор у межах 70-100% номінальної витрати за досить високого ККД компресора.

Наслідком зниження витрати повітря через компресор при частковому навантаженні ГТУ є зростання температури газів перед турбіною, що в свою чергу збільшує значення ККД ГТУ.

Суттєвий вплив на потужність та ККД газотурбінної установки здійснює температура зовнішнього повітря, яке надходить до компресора. На рис. 6 наведені характеристики ГТУ V94.3A фірми "Siemens" при змінній температурі зовнішнього повітря.

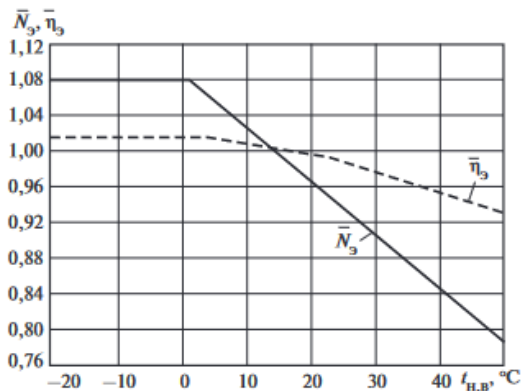


Рис. 6. Залежності відносної потужності та відносного ККД на зажимах генератора від температури зовнішнього повітря для ГТУ V94.3A фірми "Siemens"

При зниженні температури повітря потужність і ККД установки збільшуються. А при досягненні зовнішньою температурою значення нижче 1°C потужність ГТУ досягає максимального значення за умов максимальної потужності генератора.

2.2. Особливості автоматичного управління ГТУ

Автоматичні системи регулювання газотурбінними установками мають дуже схожу структуру і задачі з автоматичними системами регулювання парових турбін.

Першою головною відмінністю від парової турбіни є дуже мала інерційність ГТУ, яка пояснюється малими розмірами стопорних та регулюючих клапанів (які потребують менші перестановні зусилля сервомоторів) і малим часом підведення теплоти до робочого тіла у камері згоряння. Останній факт дозволяє дуже швидко змінювати температуру газів на вході до газової турбіни.

Другою важливою відмінністю ГТУ є суттєва чутливість її до температури повітря на вході компресора. Отже, система автоматичного регу-

лювання газотурбінною установкою повинна забезпечувати з достатньою надійністю всі можливі режими роботи установки при будь-якій температурі навколишнього повітря.

І останні суттєві відмінності ГТУ – це небезпека виникнення помпажу компресора і для пуску газотурбінної установки необхідний пусковий пристрій для попереднього розкручування ротору.

Виходячи з вищесказаного системами управління та захисту сучасних газотурбінних установок повинні забезпечувати виконання наступних задач регулювання та захисту:

1. автоматичне і дистанційне управління запуском, зміною навантаження і зупинкою газотурбінної установки;

2. здійснювати підтримання на розрахунковому рівні основних технологічних параметрів, таких як:

- частота обертання турбогенератора із заданою ступеню нерівномірності;
- температуру газів перед турбіною і після неї;
- активного навантаження електричного генератора;

– режиму роботи компресору на необхідному віддаленні від межі помпажу.

3. забезпечувати захист установки при аварійних ситуаціях, а саме:

- підвищення частоти обертання ротора вище допустимого значення;
- критичне підвищення температури газів на вході до газової турбіни;
- критичне зниження тиску масла для змащення підшипників;
- загасання факелу у камері згоряння;
- наближення до межі помпажу компресора.

2.3. Аналіз динамічних властивостей ГТУ малої, середньої і великої потужності

В роботі [5] наведена математична модель газотурбінної установки, яка описує її динамічні властивості при часткових і номінальних навантаженнях. Наведені розраховані значення коефіцієнтів диференціальних рівнянь для установок різної потужності та результати моделювання перехідних процесів при збільшенні та зменшенні електричного навантаження генератора.

На наведених нижче графіках перехідних процесів (рис. 7,8) відображене змінення частоти обертання ротора (ω) ГТУ широкого діапазону потужності при зниженні та збільшенні електричного навантаження генератора.

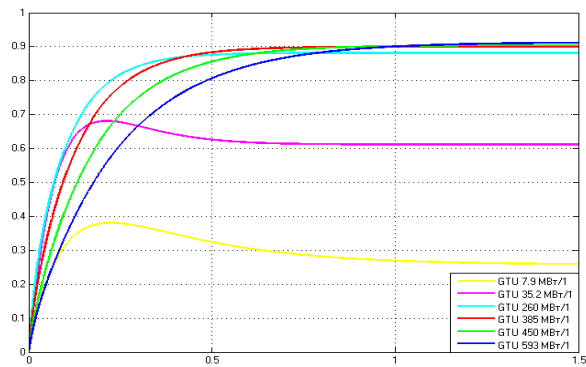


Рис. 7 Перехідний процес зміни частоти обертання ротору ГТУ при зниженні електричного навантаження на 10% ($\Delta N = -10\%$) [5]

З наведеного графіку перехідного процесу (рис.7) можна бачити, що при зниженні електричного навантаження найбільше відхилення частоти обертання відбувається в ГТУ середньої та великої потужності.

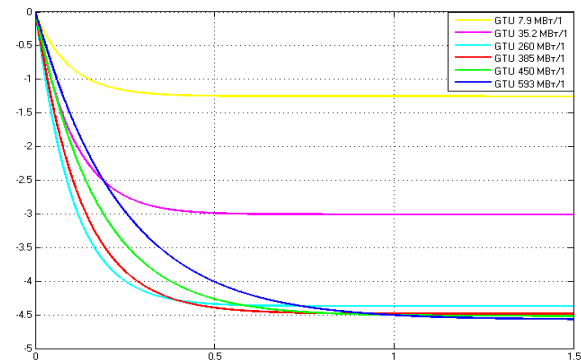


Рис. 8 Перехідний процес зміни частоти обертання ротору ГТУ при збільшенні електричного навантаження на 10% ($\Delta N = +10\%$) [5]

Така ж сама ситуація відбувається і при зниженні електричного навантаження генератора (рис.8). Також з графіків видно, що із збільшенням потужності газотурбінної установки пропорційно збільшується, правда не суттєво, інерційність установки, тобто постійна часу перехідного процесу. Більша повільність перехідного процесу обумовлена більшим розміром та, відповідно, більшою масою ротора та робочих лопаток газотурбінної установки більшої потужності у порівнянні із малопотужними ГТУ (рис.9).

Зниження електричного навантаження дає той же самий ефект тільки з більшим розкидом в залежності від номінальної потужності газотурбінної установки (рис.10).

Іншими словами, газотурбінна установка великої потужності потребує більшого часу для переходу на новий сталий режим роботи за умов нового електричного навантаження генератора.

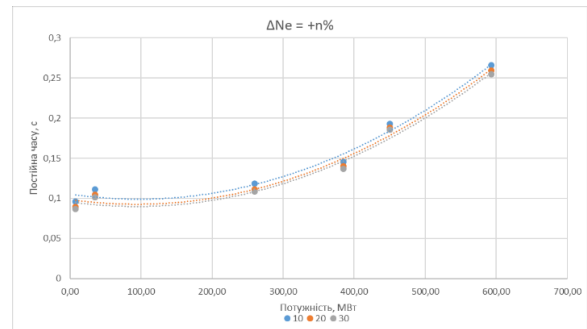


Рис. 9 Залежність постійних часу ГТУ різної потужності від величини зростання електричного навантаження [5]

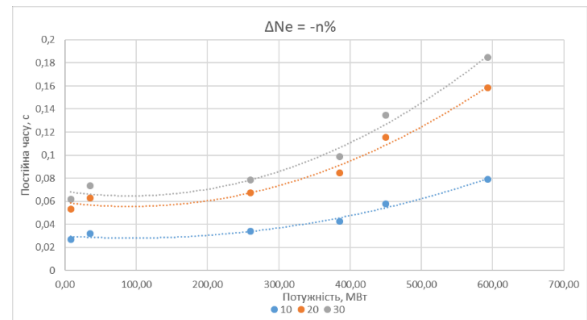


Рис. 10 Залежність постійних часу ГТУ різної потужності від величини зниження електричного навантаження [5]

Але якщо аналізувати наведені вище перехідні процеси і порівнювати їх з динамікою інших енергетичних установок, то ГТУ серед них є практично без інерційною і найманевренішою. Постійні часу об'єктів ТЕС та АЕС складають від декількох хвилин до десятків, а іноді сотень хвилин у той час, як постійні часу газотурбінних установок становлять від часток секунд до кількох десятків секунд. Це є найголовнішою перевагою даних установок для тяжких умов роботи нашої енергосистеми, коли у будь-який час може вийти з ладу генераційна установка великої потужності і утворити великий дефіцит електричної енергії в системі. Тому для обрання ГТУ, як резервної установки головним фактором, що забезпечить її перевагу, є мала інерційність і час запуску.

2.4. Перехідні процеси регулювання газотурбінної установки на часткових навантаженнях

Авторами роботи [6] проведений аналіз змінення якості перехідних процесів регулювання газотурбінної установки при роботі на номінальному та часткових навантаженнях.

Нижче на рис. 11 наведені результати моделювання перехідних процесів регулювання газотурбінної установки при електричному навантаженні генератора 100%, 75% і 50% і оптималь-

них настройках регулятора, розрахованих для кожного режиму навантаження [6].

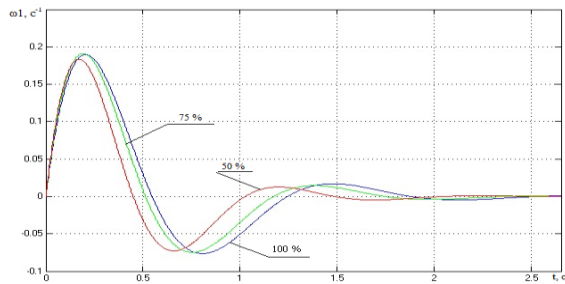


Рис. 11 Перехідні процеси регулювання частоти обертання ротора турбіни ω при електричному навантаженні генератора 100%, 75% і 50% [6]

Слід відмітити, що до регулювання частоти електричного струму в енергосистемі країни висуваються достатньо жорсткі вимоги і допустиме відхилення частоти від номінального значення не повинно перевищувати значення $0,2 \text{ с}^{-1}$ [7].

Ми бачимо з графіків переходних процесів регулювання частоти обертання ротора газотурбінної установки (рис.11), що перше динамічне відхилення у всіх трьох переходних процесах не перевищує допустимого значення в $0,2 \text{ с}^{-1}$. Але це відбувається за умов встановлення оптимальних налаштувань регулятора, розрахованих для кожного стаціонарного режиму роботи газотурбінної установки при навантаженнях від 100% до 50%.

На графіках нижче наведені переходні процеси регулювання частоти обертання ротору генератора при налаштуваннях регулятора, розрахованих для 100% навантаження газотурбінної енергетичної установки (рис. 12).

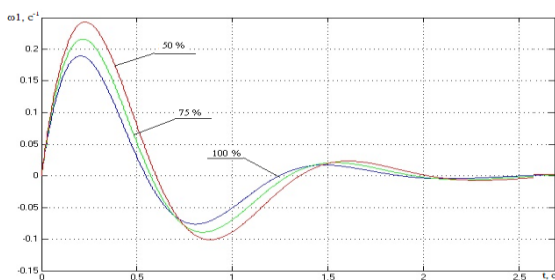


Рис. 12 Перехідні процеси регулювання частоти обертання ротора турбіни ω при налаштуваннях регулятора, розрахованих на 100% електричного навантаження генератора [6]

Але якщо ми розглянемо переходні процеси регулювання, які отримані при налаштуваннях регулятора для 75% навантаження (рис.13), то зниження якості регулювання вже буде меншим.

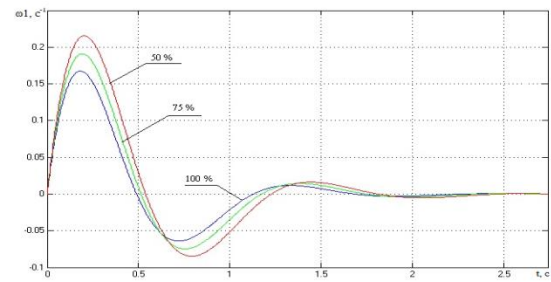


Рис. 13 Перехідні процеси регулювання частоти обертання ротора турбіни ω при налаштуваннях регулятора, розрахованих на 75% електричного навантаження генератора [6]

Видно, що обрані налаштування регулятора не забезпечують задане значення частоти обертання ротора тільки для 50% навантаження, а для 100% і 75% навантаження відхилення частоти не перевищує допустиме значення. Цей факт можна пояснити тим, що при зниженні навантаження ГТУ динамічні властивості газотурбінної установки погіршуються [8]. Це добре видно на рис.14, де наведені переходні процеси регулювання з налаштуваннями регулятора розрахованими для 50% навантаження електричного генератора.

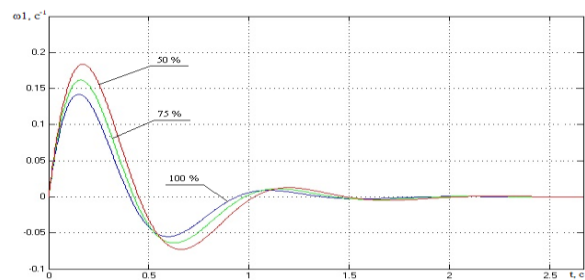


Рис. 14 Перехідні процеси регулювання частоти обертання ротора турбіни ω при налаштуваннях регулятора, розрахованих на 50% електричного навантаження генератора [6]

З наведених вище графіків видно, що налаштування регулятора, розраховані на 50% електричного навантаження забезпечують задовільну якість регулювання для всього діапазону розглянутих навантажень. Частота обертання для всіх режимів роботи ГТУ знаходиться в допустимих межах, а час регулювання становить менше однієї секунди. Також слід відмітити, що для навантажень 100% і 75% динамічне відхилення частоти менше ніж на графіках оптимальних налаштувань регулятора (рис.11). При навантаженні 100% перше динамічне відхилення частоти обертання ω знижується на 22%, а для навантаження 75% – на 11,5%.

Висновки

Виходячи з результатів моделювання динамічних характеристик газотурбінних установок малої, середньої і великої потужності можна зробити висновок, що зі збільшенням потужності зростає інерційність установки. Це викликано збільшенням об'ємів ємності камери згоряння ГТУ і робочого середовища в установках більшої потужності, а також із розмірами самої газотурбінної установки і, відповідно, збільшенням маси її обертових частин основними з яких є ротор і робочі лопатки газової турбіни і компресора.

В даній роботі показано, що при зниженні електричного навантаження газотурбінної установки в діапазоні від 100 % до 50 % змінюються технологічні параметри ГТУ, що призводить до погіршення її динамічних характеристик. Оптимальні налаштування, визначені для 100 % навантаження, не забезпечують необхідної якості регулювання частоти обертання ротора газотурбінної установки за навантажень 75 % і 50 %.

За частих і тривалих змін електричного навантаження в діапазоні від 100 % до 50 % для забезпечення якісної роботи газотурбінної установки в усьому діапазоні електричних навантажень доцільно встановлювати налаштування регулятора, оптимальні для режиму 50 % навантаження.

Список використаної літератури

1. Українська енергосистема 2023-2024: проблеми, виклики та перспективи / К. Криволап [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://rubryka.com/blog/ukrayinska-energosystema>
2. Кисельова Н.І. Розробка автоматичної системи регулювання потужності енергоблока АЕС із ВВЕР-1000 у режимі Н [Текст] / Кисельова Н.І., Погребний Я.С., Беглов К.В. // Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. – 2018. – Т. 29(68). Ч.1. №6. – С. 167–170.
3. Тодорцев Ю.К. Аналіз методів управління потужністю енергоблока з водо-водяним реактором при маневруванні [Текст] / Ю.К. Тодорцев, Т.В. Фощ, М.В. Нікольський // Східно-Європейський журнал передових технологій.– 2013. – №8(66). – С. 3 –10. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19134>
4. Maksimov, M. V. Principles of controlling fuel-element cladding lifetime in variable VVER-1000 loading regimes [Text] / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov, R.L. Gontar // Atomic Energy – 2012. – Iss. 4(112). – P. 241–249.
5. O.Yavorskyi Model of Gas Turbine Plant with Concentrated Parameters for Analysis of Dynamic Properties Patterns [Text] / O.Yavorskyi, O.Tarakhtii, M.Maksymov, V.Kryvda // ENERGY ENGINEERING AND CONTROL SYSTEMS – 2023. – Volume 9, №2. – p. 105-118. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.02.105>
6. Gennadiy Oborskiy Control System of Co-generation Power Plant at Partial Electrical Loads [Text] / Gennadiy A. Oborskiy, Anatoliy N. Bundyuk, Olga S. Tarakhtii // Journal of Automation and Information Sciences. – 2018. – Vol.50, Issue 7, pp. 70-78. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i7.60
7. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. [Введ.01.01.2000]. – К.: Изд-во стандартов, 1998; Госстандарт Украины, с доп. и попр., 1999. – 31 с.
8. Оборський Г.О. Нові і нетрадиційні технології в енергетиці: Монографія [Текст] / Г.О. Оборський, А.М. Бундюк, Б.О. Моргун, І.В. Прокіпович, О.О. Уліцька, О.С. Таракhtій // – Одеса: ПП Фенікс, 2016.

References

1. Ukrainska enerhosystema 2023-2024: problemu, vyklyky ta perspektyvy / K. Kryvolap [Elektronnyi resurs]: – Rezhym dostupu: <https://rubryka.com/blog/ukrayinska-energosystema>
2. Kyselova N.I. Rozrobka avtomatychnoi systemy rehuliuвання potuzhnosti enerhobloka AES iz VVER-1000 u rezhymi N [Tekst] / Kyselova N.I., Pohrebnyi Ya.S., Behlov K.V. // Vcheni zapys-ky TNU im. Vernadskoho. – 2018. – T. 29(68). Ch.1. №6. – S. 167–170.
3. Todortsev Yu.K. Analiz metodiv upravlinnia potuzhnistiu enerhobloka z vodo-vodianym reaktorom pry manevruванні [Tekst] / Yu.K. Todor-tsev, T.V. Foshch, M.V. Nikolskyi // Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii.– 2013. – №8(66). – S. 3 –10. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19134>
4. Maksimov, M. V. Principles of controlling fuel-element cladding lifetime in variable VVER-1000 loading regimes [Text] / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov, R.L. Gontar // Atomic Energy – 2012. – Iss. 4(112). – P. 241–249.
5. O.Yavorskyi Model of Gas Turbine Plant with Concentrated Parameters for Analysis of Dynamic Properties Patterns [Text] / O.Yavorskyi, O.Tarakhtii, M.Maksymov, V.Kryvda // ENERGY ENGINEERING AND CONTROL SYSTEMS – 2023. – Volume 9, №2. – p. 105-118. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.02.105>
6. Gennadiy Oborskiy Control System of Co-generation Power Plant at Partial Electrical Loads [Text] / Gennadiy A. Oborskiy, Anatoliy N. Bundyuk, Olga S. Tarakhtii // Journal of Automation and Information Sciences. – 2018. – Vol.50, Issue 7, pp. 70-78. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i7.60

7. Electric Energy. Standards for the quality of electrical energy in general purpose power supply systems: GOST 13109-97. [Entered 01/01/2000]. – K.: Standards Publishing House, 1998; State Standard of Ukraine, with additional and etc., 1999. –31 p.

8. Oborskyi H.O. Novi i netradytsiini tekhnologii v enerhetytsi: Monohrafiia [Tekst] / H.O. Oborskyi, A.M. Bundiuk, B.O. Morhun, I.V. Prokopovych, O.O. Ulitska, O.S. Tarakhtii // – Odesa: PP Feniks, 2016.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF GAS TURBINE PLANTS WITH A WIDE RANGE OF CAPACITIES AT PARTIAL ELECTRICAL LOADS

O.S. Tarakhtiy, D.S. Yedalov¹

¹ National University "Odesa Polytechnic"

Abstract. The article considers the possibility of using gas turbine power plants when operating at partial electrical loads. This option of using gas turbine plants can help reduce the unevenness between electricity production and consumption, which is associated with the difficult operating conditions of the Ukrainian power system. The main disadvantages of nuclear power plants (the main source of electricity generation in Ukraine), which do not allow them to compensate for the unevenness of the power system in transient and dynamic modes, are considered. The paper analyses the dynamic properties and characteristics of gas turbine units (GTUs) of a wide range of capacities: small, medium and large installed capacities. As a result of the modeling, it was found that the inertial properties of a gas turbine unit increase with the increase in the rated power of the unit. The paper presents the results of modeling the dynamic characteristics of gas turbine plants of small, medium and large capacity when the electrical load changes. The paper presents the transient processes of controlling the rotor speed of a gas turbine engine with optimal controller settings and settings calculated for partial loads of a gas turbine installation. The change in the quality of the transient processes of controlling the rotor speed of a gas turbine unit when operating at partial electrical loads (100%, 75%, and 50%) compared to the installed capacity is analyzed.

Keywords: gas turbine installation, partial electrical load, dynamic characteristics, transient control processes, control quality indicators.

Отримано 18.03.2024



Таракhtій Ольга Сергіївна, Національний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

E-mail: tarakhtij@op.edu.ua, тел. +38-048-705-83-74

Tarakhtii Olha S., National University "Odesa Polytechnic", PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Software and Computer-Integrated Technologies. 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

E-mail: tarakhtij@op.edu.ua, ph.: +38-048-705-83-74

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4266-3481>



Єдалов Дмитро Сергійович, Національний університет «Одеська політехніка», студент другого (магістерського) рівня вищої освіти кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна, E-mail: 10514627@stud.op.edu.ua, тел. +38-048-705-83-74

Yedalov Dmytro S., National University "Odesa Polytechnic", second (master's) degree student of the Department of Software and Computer-Integrated Technologies. 1, Shevchenko Ave. 1, Odesa, 65044, Ukraine

E-mail: 10514627@stud.op.edu.ua, ph.: +38-048-705-83-74

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-3748-241X>