

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ В МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Щербак І. Є.

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

Запропоновано ймовірно-статистичне моделювання режиму роботи споживачів-регуляторів, що дозволяє вирівнювати графік навантаження трансформаторної підстанції міської розподільної мережі.

Постановка проблеми. В умовах нестабільної політичної ситуації, відсутності домовленостей щодо поставок природного газу та воєнних дій на території Донбасу, а отже, і загрози щодо отримання своєчасно та в достатній кількості вугілля на електростанції перед нашою країною виникає нагальне питання щодо зменшення споживання енергоносіїв, переходу від природного газу на інші джерела енергії при забезпеченні стабільної та надійної роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Вирішення питання забезпечення енергоресурсами шляхом здійснення реверсних поставок газу з Євросоюзу та закупівлі вугілля з країн Африки неминуче призведе до збільшення собівартості як електроенергії, так і послуг теплопостачання. Отже, питання енергозбереження виходять на перший план.

Основним повинно стати підвищення ефективності роботи ОЕС України, в тому числі, шляхом розробки та впровадження заходів щодо вирівнювання графіку електричного навантаження (ГЕН) ОЕС України, що дозволить зменшити питомі витрати палива на ТЕС, які працюють наразі у маневреному режимі, та збільшити частку вироблення електроенергії на АЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вирівнювання ГЕН не нове, його рішення приділяли увагу багато вчених [1, 2]. Основним методом наразі є централізоване регулювання навантаження, що здійснюють введенням в роботу ГЕС, ГАЕС та розвантаженням блоків ТЕС. Проте застосування ГЕС та ТЕС не впливає на режими електроспоживання, а лише покриває піки та провали, що виникають. Отже, найбільш ефективно впливати саме на процес електроспоживання. Для цього енергопостачальні організації шляхом введення тарифів диференційованих за періодами часу, економічно стимулюють споживачів до зменшення електроспоживання в години максимуму та до збільшення в години мінімального електроспоживання.

Таким чином здійснюється вплив на режими електроспоживання шляхом введення в роботу споживачів-регуляторів (СР) – електроприймачі, що здатні до перенесення часу своєї роботи з одних зон на інші без шкоди технологічному процесу. Слід зауважити, що за роки існування ТДПЧ потенціал введення СР на промислових підприємствах практично вичерпано. Тому особливу увагу слід приділити населенню як значному споживачу електроенергії та сектору, де досі не набули широкого впровадження заходи щодо регулювання ГЕН через низку причин, серед яких значна вартість зонних електролічильників, незручно-

сті, що виникають через додержання вимог, щодо споживання ЕЕ, тощо.

Серед СР для потреб населення можуть застосовуватися різноманітні прилади електрообігріву та електробойлери. Їх широке впровадження наразі не відбувається через низку причин, однією з головних є необхідність заміни електричних мереж та збільшення потужностей підстанцій, що потребує значних фінансових інвестицій. Тому вкрай важливим є завдання виявлення можливості підключення потужностей СР до діючих трансформаторних підстанцій міських електричних мереж.

Мета статті – підвищення ефективності використання встановленого обладнання трансформаторних підстанцій (ТП) шляхом підключення споживачів-регуляторів для потреб гарячого водопостачання.

Основні матеріали дослідження. Графік навантаження $p(t)$ міської електричної мережі залежить від складу споживачів та режиму їх роботи. Його формування відбувається під дією цілого ряду факторів як періодичного, так і випадкового характеру. На протязі року спостерігається регулярне зниження навантаження в літні місяці та його збільшення в зимові. Також має місце коливання навантаження у вихідні та святкові дні. На протязі доби спостерігається зниження навантаження в нічні години та підвищення у ранкові та вечірні години.

Як правило, добова циклічність режимів роботи, що обумовлює зміну навантаження електричної мережі по добовому циклу, зумовлена природними циклами, технологічними особливостями та режимом праці і відпочинку. Випадкові коливання навантаження пов'язані з різночасністю включення і відключення споживачів. Істотний вплив здійснює зміна метеорологічних умов. Тому слід зауважити, що застосування у якості СР будь-якого виду електроопалення призведе до збільшення випадкового характеру зміни навантаження. Застосування в якості СР автоматизованих систем нагріву води електроенергією (АСНВЕ), для забезпечення гарячого водопостачання, яке відносно рівномірне на протязі року є найбільш прийнятним та можливим.

В цілому сумарний ГЕН ТП, що формується, в основному, з періодичних ГЕН житлових будинків, а ті в свою чергу з ГЕН квартир, має стохастичний характер. Взаємозв'язок між його ординатами в різні моменти часу $t_1, t_2=t_1+\tau$ є ймовірнісним [3, 4]. Стохастичність ГЕН ТП викликається відсутністю детермінованих зв'язків між ГЕН приєднаних об'єктів. Тому цілком природно, що для вивчення та прогнозування

характеристик ГЕН ТП слід використовувати математичний апарат теорії випадкових процесів, що відображає природу зміни навантажень.

Шляхом обробки багаторічних статистичних даних були визначені та побудовані типові ГЕН. Використовуючи типові ГЕН можна визначити максимальну потужність СР та кількість електроенергії в нічній години на потреби СР. Таким чином, визначити чи достатньо цієї електроенергії для нагріву необхідного об'єму гарячої води для забезпечення потреб споживачів.

Слід зауважити, що при використанні типових ГЕН необхідно враховувати зміну годин піку ГЕН залежно від освітленості на протязі року, що носить циклічний характер.

Більш суттєва проблема зміна характеру температури навколишнього середовища у зимовий період та в весняно-осінній неопалювальний період. В цих умовах для обігріву застосовуються різноманітні побутові електрообігрівачі, які в останні роки набули широкого поширення, і пов'язана з цим суттєва зміна коливання навантаження.

З метою точності розрахунків номінальної потужності СР та для здійснення якісного моделювання їх режимів роботи важливо здійснювати вимірювання ГЕН безпосередньо на даній ТП.

Для проведення експериментальних досліджень необхідно виділити об'єкт дослідження, обрати ТП, від якої отримує живлення певна кількість житлових будинків, вибрати температуру води, до якої необхідно нагріти відповідний об'єм води, визначити умови проведення вимірювань, їх тривалість, та необхідні технічні засоби вимірювання.

В роботі розглянута трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ, що містить два трансформатори потужністю 400 кВА, від ТП отримують живлення 4 житлові будинки 9-ти поверхові, 6 під'їзди, що розташовані за адресою проспект Тракторобудівників 162 Г, 162 Д, 162, 162 Е та мають характерний ГЕН для житлових будинків з електроплитами. Будинок 162 Г підключений 2 кабелями ААШв 3х70, 162 Д – 2 кабелі 3х50 ААШв.

Для системного дослідження режиму навантаження ТП проведені виміри навантаження для кожного вводу ТП на протязі п'яти діб, за використання комплектного приладу Енергомонітор 3.3Т.

В результаті вимірів одержали ступінчастий графік, координата кожного ступеня якого відповідає середньому навантаженню за прийнятий проміжок часу. Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що завантаження електрообладнання значно нижче номінального. Тому з урахуванням навантажувальної здатності трансформаторів слід обирати номінальну потужність СР та режим їх роботи залежно від завантаження ТП в даний момент часу.

При ймовірнісно-статистичному моделюванні реальний процес зміни електричного навантаження розглядають як нестационарний випадковий процес, який у певні періоди, наприклад, години максимальних та мінімальних навантажень добового ГЕН, можна представити як стаціонарний. Тоді необхідно зробити виміри навантажень в нічні (мінімальні) години декількох діб в один і той же сезон та представити результа-

ти вимірювань у вигляді ряду послідовних значень навантаження $S_i(t)$ ($i = 1, 2 \dots n$) усереднених за півгодинні (годинні) інтервали.

Для характеристики процесу зміни навантаження у часі визначають величини математичного очікування $M(S)$ та відповідних середньоквадратичних відхилень навантаження $\sigma(S)$ для розрахункових моментів часу. Саме вони відображають основні ймовірнісні характеристики електричних навантажень споживачів.

Розрахункове значення навантаження знаходимо за формулою:

$$S_i(t) = M[S(t)] + \beta \sigma[S(t)], \quad (1)$$

де $M[S(t)]$ – математичне очікування навантаження в момент часу t ,

$\sigma[S(t)]$ – середньоквадратичне відхилення навантаження у момент часу t ,

β – коефіцієнт розкиду випадкової величини навантаження, що враховує інтенсивність розкиду випадкових значень навантаження навколо прийнятого розрахункового значення. При визначенні розрахункових навантажень приймають $\beta=2 \dots 3$.

Моделювання електричних навантажень ТП дозволяє враховувати реальний процес поведінки навантаження, що є важливим для подальшого аналізу параметрів СР [5].

За відомих значень вхідних параметрів: місцезнаходження ТП, кількість та потужність трансформаторів, переріз жили кабелів необхідно змоделювати режим роботи СР дотримуючись обмежень за потужністю, годинами доби, втратою напруги та за умовами нагріву.

Сумарна максимальна потужність основних споживачів, групи СР, що підключені до трансформатору та втрати потужності в кабельних лініях, що живлять споживачів, повинна бути менше номінальної потужності трансформатора

$$\max(\sum_{i=1}^n (P_{\text{споживач}} + P_{\text{СР}} + P_{\text{втрати}})) \leq P_{\text{ном}}^{\text{ТП}} \quad (2)$$

де $P_{\text{споживач}}$ – потужність основних споживачів, кВт;

$P_{\text{СР}}$ – потужність споживачів-регуляторів, кВт;

$P_{\text{втрати}}$ – втрати потужності в кабельній лінії, кВт.

Неприпустимою є робота СР в періоди максимального навантаження енергосистеми. Бажана їх робота на максимальну потужність в нічний період.

Сумарна величина відхилення напруги у споживача, що складається із відхилення напруги на виході ТП та падіння напруги на кабельній лінії, повинна бути за абсолютним значенням не більше 5% від номінального значення

$$\max(|\Delta U^{\text{ТП}} + \Delta U^{\text{втрати}}|) \leq 5\% U_{\text{ном}} \quad (3)$$

де $\Delta U^{\text{ТП}}$ – зміна вторинної напруги трансформатору, В;

$\Delta U^{\text{втрати}}$ – втрата напруги в кабельній лінії, В.

Максимальна сила струму в кабельній лінії повинна бути менше гранично допустимого значення, залежно від перерізу та типу кабелю

$$\max I^{max} \leq I_{доп}^{max} \quad (4)$$

На першому етапі сумарне навантаження ТП приймаємо рівним $S_{ном}$ та проводимо розрахунок для СР. Завданням розрахунку є визначення діапазону регулювання навантаження СР та їх оптимальної потужності. Розрахунок виконується за алгоритмом:

$$\begin{aligned} S_{СРi} &= S_{ТПном} - S_{ТПi} = \\ &= P_{ТПном} - P_{ТПi} + j(Q_{ТПном} - Q_{ТПi}) = \\ &= P_{ТПном} - M(P_{ТПi}) + \beta\sigma(P_{ТПi}) + \\ &+ j(Q_{ТПном} - -M(Q_{ТПi}) + \beta\sigma(Q_{ТПi})) = \\ &= M(P_{СРi}) + \beta\sigma(P_{СРi}) + j(M(Q_{СРi}) + \beta\sigma(Q_{СРi})) \quad (5) \end{aligned}$$

де $S_{ТПном}$, $P_{ТПном}$, $Q_{ТПном}$ – номінальна повна, активна та реактивна потужність ТП;

$S_{ТПi}$, $P_{ТПi}$, $Q_{ТПi}$ – повна, активна та реактивна потужність ТП в i -тий проміжок (момент) часу;

$S_{СРi}$, $P_{СРi}$, $Q_{СРi}$ – повна, активна та реактивна потужність СР в i -тий проміжок (момент) часу.

Для системного дослідження сумісного режиму роботи ТП та підключеної групи СР були проведені вимірювання ГЕН ТП і графіків споживання гарячої води споживачами у м. Харків. Та побудовані відповідні графіки роботи споживачів-регуляторів згідно представленої моделі.

Важливими параметрами СР, що повинні враховуватись при моделюванні є розміри акумулюючих ємностей АСНВЕ та температура води.

Середньострокові прогнози режимів роботи ТП необхідні для вирішення задачі планування режиму роботи СР для нагріву певного об'єму води до заданої температури. Однак, враховуючи фактор неповноти інформації при керуванні електроспоживанням СР замало лише математично спрогнозувати їх режим роботи. Необхідно та доцільно на ТП до якої підключаються СР встановити слідкуючи систему, яка буде подавати команди на вмикання, вимикання чи зміну потужності СР залежно від завантаження ТП в динаміці часу.

Для визначення вирівнювання ГЕН до та після підключення СР розраховують основні коефіцієнти (коефіцієнт заповнення ГЕН, коефіцієнт нерівномірності).

Збільшення цих коефіцієнтів, що відбувається після підключення СР призводить до зменшення нерівномірності графіка електричного навантаження та вказує на ефективність запропонованого методу вирівнювання ГЕН.

Висновки. Температура навколишнього середовища, освітленість та ритми життя здійснюють основ-

ний вплив на зміну величини навантаження, що носить стохастичний характер. Для достовірного опису процесів зміни навантаження необхідно застосовувати імовірнісний метод моделювання. Шляхом моделювання визначається діапазон регулювання та оптимальна потужність СР.

Підключення СР для потреб населення з можливістю керувати їх потужністю залежно від режиму роботи ТП в даний період часу дозволить більш раціонально використовувати елементи електричних мереж та задовольнити потребу у гарячому водопостачанні. В цілому досягається покращення конфігурації ГЕН, збільшується відпуск корисної ЕЕ в мережу та, відповідно, прибуток енергопостачальної організації.

Список використаних джерел

1. Козлов В. А. Электроснабжение городов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 264 с.
2. Идельчик В. И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
3. Фокин Ю. А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с.
4. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л., Степанов В. П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 128 с.
5. Математичне моделювання та оптимізація систем електроспоживання у сільському господарстві: Навч. посібник / Г. Б. Іноземцев, В. В. Козирський; За ред. Г. Б. Іноземцева. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2010 – 140 с.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ-РЕГУЛЯТОРОВ В ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Щербак И. Е.

Предложена математическая модель управления режимом работы потребителей-регуляторов, позволяющая выравнять график нагрузки трансформаторной подстанции городской распределительной сети.

Abstract

OPERATION MODES SIMULATION OF CONSUMERS-REGULATORS IN URBAN DISTRIBUTING NETWORKS

I. Shcherbak

The mathematical model of the consumers-regulators operation modes management that allows to equalize the load schedule of the urban distributing network transformer substation has been proposed.