

## ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХОДУ ДО ЕНЕРГООЩАДНОГО КЕРУВАННЯ

*Розглянуто проблеми керування процесами переведення систем енергопостачання і енергоспоживання на енергоощадне функціонування на прикладі електричного освітлення. Показано, що перехідний процес повинен оптимізуватися і бути керованим.*

### Вступ

Енерго- і ресурсощадні технології і нетрадиційна енергетика стали найважливішими пріоритетами розвитку енергетики і економіки, як у рамках окремих держав, так і в глобальному масштабі. Причини цього в обмеженості сировинних і енергетичних ресурсів. Враховуючи, що в останні десятиріччя кількість споживаної людством енергії подвоюється приблизно за кожні 15 років, все очевидніше стає неможливість забезпечувати надалі прогрес цивілізації екстенсивним розвитком енергетики і економіки в цілому. Переведення таких динамічних систем як енергопостачання і енергоспоживання на енергоощадне функціонування можливе тільки через перехідні процеси. Параметрами перехідного процесу є: коливання, перерегулювання, тривалість, усталена помилка та ін.

Прикладом перехідного процесу може служити заміна традиційних джерел світла (ДС) — ламп розжарювання (ЛР) на енергоефективні ДС — компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ). Однією з причин коливання цього перехідного процесу є поширення інформації про зміст в КЛЛ шкідливої для людини і довкілля ртуті (2—6 міліграм в одній лампі). Коливанням сприяють і контраргументи про те, що навпаки, ЛР опосередковано служать серйознішими «постачальниками» в атмосферу шкідливих речовин, оскільки призводять до спалювання більшої кількості вугілля у виробництві електроенергії. Іншими збурювальними діями в системі керування енергоефективністю електричного освітлення, що впливають на показники перехідного процесу, можуть бути: низька якість КЛЛ і часті випадки виходу їх з ладу задовго до закінчення термінів служби, що регламентуються виробниками, і, навпаки, успіхи в модернізації і підвищенні якості КЛЛ; неповна сумісність КЛЛ з існуючою інфраструктурою освітлення (регуляторами яскравості, датчиками руху, фотоелементами, таймерами, вимикачами з підсвічуванням та ін.), яка викликає необхідність роботи КЛЛ в нештатному режимі; відсутність для населення, підприємств і організацій безкоштовного, простого і зручного доступу до системи утилізації КЛЛ і необхідність великих витрат на створення такої системи; результати прогнозів про появу найближчими роками на енергетичному ринку ДС, досконаліших ніж КЛЛ, наприклад, світлодіодних.

### Матеріали і результати досліджень

Сьогодні Росія стоїть перед вибором шляху розвитку вітчизняного електроосвітлення. Переведення електроосвітлення з ЛР на КЛЛ можливе за рахунок: імпорту; власного виробництва КЛЛ; виробництва КЛЛ з імпортних комплектуючих та ін. Відставання Росії від низки інших країн у виробництві КЛЛ, наприклад від Китаю, не дозволяє їй бути тут в числі лідерів. Але аналіз тенденцій розвитку науково-технічного прогресу в галузі електроосвітлення дозволяє вважати, що в недалекому майбутньому неминучий перехід на нові світлодіодні ДС, що стрімко розвиваються. У такому разі Росії належить забезпечити проходження ще одного перехідного періоду в електроосвітленні: з КЛЛ на світлодіодні ДС. Враховуючи це, вважається перспективним дослідження доцільності для Росії серйозних вкладень в розробку світлодіодів для переходу на нові ДС без розвитку власних систем виробництва, повномасштабного використання і утилізації КЛЛ. На цьому шляху, на відміну від еволюційного розвитку КЛЛ, можливий технологічний прорив і отримання ефективних показників TCO (Total Cost of Ownership — сукупної вартості володіння). Поді-

бний досвід у Росії є: через відставання з впровадженням стільникового зв'язку наша країна зуміла практично відразу перейти до GSM, пропустивши застарілі стандарти стільникового зв'язку, і добилася успіхів. Слід враховувати, що велика частина матеріалів для світлодіодів може вироблятися і виробляється в Росії: особливо чисті гази, метали, підкладки, напівпровідникові матеріали, люмінофори. У держкорпорації «Роснано» сформована «технологічна дорожня карта» під назвою «Використання нанотехнологій у виробництві світлодіодів».

Серед практично нескінченного числа можливостей здійснення перехідних процесів необхідно знайти оптимальну за вибраним критерієм. Розв'язання задачі динамічної оптимізації передбачує пошук оптимальної стратегії керування процесом. У такій постановці задача може бути інтерпретована простором станів. Динамічна оптимізація в просторі станів може формулюватися, наприклад, як пошук оптимального керуючого вектора із збереженням вектора стану  $x(t)$  максимально близько до заданого вектора  $w(t)$ . Для розв'язання цієї задачі може використовуватися принцип максимуму Понтрягіна, принцип динамічного програмування, варіаційний метод Ейлера-Лагранжа.

В той же час принципова можливість керованого переведення системи через перехідний процес в новий бажаний стан пов'язана з проблемою стійкості керування. Стійкий розвиток (sustainable development) — нова концепція розвитку людської цивілізації, що підтримується ООН. Враховуючи, що прогрес цивілізації, підйом її на новий рівень промислового виробництва і вищий в середньому рівень життя відбувався кожного разу в результаті зміни енерготехнології, тобто переходу на нову ступінь отримання і використання енергії, забезпечення стійкого переходу до енергоощадного керування, стає стратегічним завданням сучасності. Основними видами стійкості в економічних системах прийнято вважати: рівновагу (equilibrium), гомеостазис (homeostasis) і стаціонарний процес (stationary process). Але сама рівновага може бути стійкою, якщо у разі зовнішньої дії на систему зберігається незмінність її рівноважних властивостей, і нестійкою — в протилежному випадку. Перспектива вичерпання непоновлюваних енергетичних ресурсів в недалекому майбутньому з одночасною необхідністю забезпечення зростання енергоспоживання робить дуже проблематичним надійне вирішення проблеми підтримки рівноважних властивостей енергетики в її існуючому вигляді. У зв'язку з цим є доцільним розгляд стійкості розвитку енергетики з позицій гомеостазису, що допускає не незмінність економічних параметрів цієї галузі, а незмінність співвідношення системи з середовищем. При цьому система може міняти свою структуру, склад істотних параметрів тощо. Енергетика з позицій гомеостазису повинна мати здатність швидко реагувати на зміни структури паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), структури енергоспоживання, нових вимог до енергетики, пов'язаних з її глобальним впливом на довкілля та ін.

У РФ розроблена і удосконалюється система заходів, що забезпечують виконання стратегічного державного завдання переходу до енергоощадної енергетики і підвищення енергетичної ефективності. На першому місці серед п'яти пріоритетних напрямів роботи Комісії РФ з модернізації і технологічного розвитку економіки Росії стоїть енергоефективність. Для ілюстрації стану справ з енергоефективністю в РФ на рис. 1 показана діаграма, що дозволяє порівняти енергоемність валового

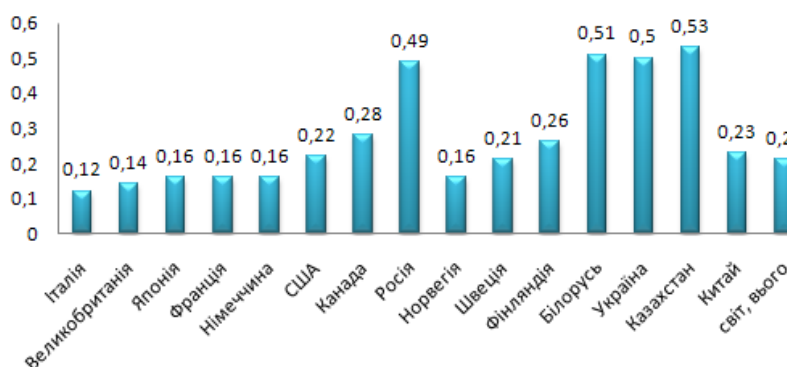


Рис. 1. Енергоемність ВВП країн світу в ПНЕ/тис. дол.

внутрішнього продукту (ВВП) Росії з аналогічними показниками інших країн. Як початкові показники для побудови діаграми прийняті відносні оцінки Міжнародного Енергетичного Агентства щодо рівня енергоемності економік в паливно-нафтовому еквіваленті (ПНЕ) на 1000 доларів національного продукту.

Сучасний стан в галузі енергоефективності можна розглядати як період пере-

ведення основних напрямків робіт від формування ідеології і нормативно-правових положень в сферу практичної діяльності, послідовного, поетапного розроблення технології реального енергозбереження, тобто переходу до енергоощадного керування. З цією метою істотно посилена відповідальність суб'єктів господарювання у зв'язку з користуванням енергоресурсами, пе-

редбачається ряд стимулюючих заходів, які стосуються кожного громадянина як рядового споживача і керівників організацій як користувачів енергетичних ресурсів [1].

Відповідно до [1, 2] встановлені вимоги відносно мінімально допустимих значень світлової віддачі (енергоефективності) електричних ламп. Наприклад, встановлені мінімально допустимі значення світлової віддачі і тривалості горіння ламп. Так, відносно ламп розжарювання вольфрамових: світлова віддача — не менше 7 лм/Вт; тривалість горіння — не менше 1000 годин. Відносно ламп розжарювання вольфрамових галогенних: світлова віддача — не менше 15 лм/Вт; тривалість горіння — не менше 2000 годин. Відносно ламп люмінесцентних із вбудованим пускорегулюючим апаратом співвідношення споживаної потужності і світлового потоку повинне задовольняти вираз:

$$W \leq 0,24\sqrt{\Phi} + 0,0103 \cdot \Phi, \quad (1)$$

де  $W$  — споживана потужність лампи, Вт;  $\Phi$  — світловий потік лампи, лм; тривалість горіння — не менше 8000 годин.

В [2] встановлені також: максимальний вміст ртуті і свинцю для КЛЛ, допустимі відхилення значень корельованої колірної температури відносно світлодіодних ламп ненапрявленого світла (ретрофітів), модулів світлодіодних джерел світла і КЛЛ. У [2] також дані диференційовані терміни переходу до дотримання ряду встановлених вимог. Цей приклад свідчить про прагнення не лише забезпечити досягнення кінцевої мети керування, але і вплинути на показники перехідного процесу. За даними Федерального агентства по технічному регулюванню і метрології в 2009 році в Росії розроблено 242 національні стандарти в галузі енергоефективності. Протягом 2010—2011 рр. планується розробити ще 486 стандартів в цій галузі (рис. 2). Таким чином, до 2012 р. їх загальна кількість досягне 728 стандартів. Інструментами реалізації вимог розвиненої нормативно-правової бази енергозбереження і енергоефективності служать: система субсидій; податкові пільги; відшкодування відсотків по кредитах; регульовані ціни (тарифи); енергосервісні угоди; регіональні, муніципальні програми.

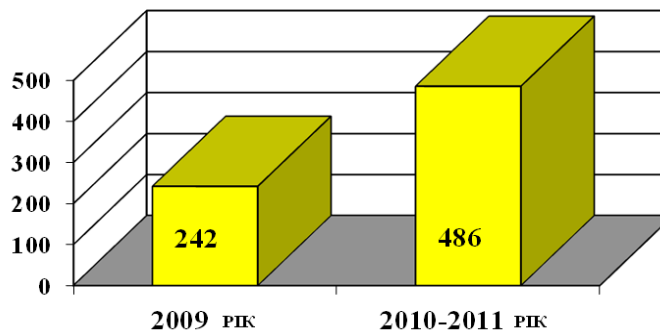


Рис. 2. Розробка національних стандартів РФ в галузі енергоефективності

В цілому ця робота здійснюється відповідно до [3], де міститься укрупнений перелік найважливіших стратегічних цілей і завдань розвитку енергетики Росії, покликаних забезпечити адекватну відповідь на внутрішні і зовнішні виклики. Головний внутрішній виклик зумовлений системотворчим значенням енергетичного сектору в економіці країни у рамках наміченого її переходу на інноваційний шлях розвитку. Головний зовнішній виклик являють загрози, пов'язані з нестійкістю світових енергетичних ринків і волатильністю світових цін на енергоресурси в умовах необхідності надійного забезпечення ефективності зовнішньоекономічних показників і посилення позицій у світовій економічній системі. Реалізація [3] повинна забезпечити істотне зниження залежності російської економіки від енергетичного сектора шляхом випереджаючого розвитку інноваційних енергоефективних секторів економіки і повноцінного освоєння потенціалу енергозбереження.

Це повинно забезпечити скорочення до 2030 року (в порівнянні з рівнем 2005 року) :

- частки ПЕК у ВВП і частки ПЕР в експорті — не менше ніж у 1,7 рази;
- частки експорту ПЕР у ВВП — більш ніж у 3 рази;
- частки капіталовкладень в ПЕК в загальному об'ємі капіталовкладень — більш ніж у 2 рази;
- питомої енергоемності ВВП — більш ніж у 2 рази;
- питомої електроємності ВВП — не менше чим у 1,6 рази.

Важливо і те, що завдання визначення якості і стійкості процесу переходу до енергоощадної енергетики не може вирішуватися у рамках аналізу лише однієї цієї макросистеми. Енергетика складається з великої кількості підсистем, які взаємодіючи між собою, розвиваються як самостійні системи, велика кількість з яких самі взаємодіють із навколишнім середовищем. Це не дозволяє ефективно застосовувати традиційні методи аналізу прогнозних моделей і оцінювати з їх допомогою стійкість і якість перехідних процесів на шляху до енергоощадної енергетики [4]. Перспекти-

вним вбачається звернення до синергетичної теорії керування і дослідження проблем самоврядування і спрямованої самоорганізації відповідно до поставленої мети переходу до енергоощадного керування.

### Висновки

1. Енергоощадне керування як об'єктивна необхідна умова подальшого прогресу цивілізації здійснюється у рамках керованого перехідного процесу, допустимі показники якості якого вимагають розв'язання задач динамічної оптимізації і створення оптимальної стратегії керування процесом.

2. Повноцінне застосування традиційних методів аналізу прогнозних моделей розвитку сучасної енергетики і оцінки з їх допомогою стійкості і якості перехідних процесів ускладнене складністю енергетики як макросистеми.

3. Сучасний стан енергетики підвищує значення використання для аналізу її стану і розвитку синергетичної теорії керування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон (принят Гос. Думой 23 ноября 2009 г. № 261).
2. Постановление Правительства РФ от 20 июля 2011 г. № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (Утв. распоряж. Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.). // Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика». — М. : ГУ ИЭС, 2010. — 184 с.
4. Фёдоров, О. В. Ресурсосбережение в энергетике : моног. / О. В. Фёдоров, Н. В. Голубцов, И. И. Гребенюк. — М. : ИНФРА-М, 2011. — 247 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 20.10.11

Рекомендована до друку 17.11.11

**Голубцов Микола Володимирович** — доцент кафедри електропостачання.

Нижегородський військовий інститут інженерних військ, Нижній Новгород;

**Федоров Олег Васильович** — професор кафедри керування інноваціями.

Нижегородський державний технічний університет ім. Р. Е. Алексєєва, Нижній Новгород