

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В РЕГІОНІ**Касьянова Н. В., Левшова Ю. О.**

Розглянуто методичні підходи до прогнозування обсягів попиту на електроенергію в межах промислового регіону. Мета статті полягає у моделюванні споживання електроенергії у промисловому регіоні на основі використання комплексу моделей довгострокового прогнозування енергоспоживання. Запропонований комплекс моделей включає: модель енергоемності економіки країни, модель енергоспоживання галузей економіки та модель регіонального енергоспоживання. Кожна модель відбиває свій аспект споживання електроенергії. Описаний модельний комплекс дозволяє отримувати довгострокові прогнози споживання електроенергії в Україні. У поєднанні з сценарним підходом цей модельний комплекс є ефективним інструментарієм, здатним підвищити якість прогнозів і управлінських рішень, що приймаються.

Рассмотрены методические подходы к прогнозированию объемов спроса на электроэнергию в пределах промышленного региона. Цель статьи заключается в моделировании потребления электроэнергии в промышленном регионе на основе использования комплекса моделей долгосрочного прогнозирования энергопотребления. Предложенный комплекс моделей включает: модель энергоемкости экономики страны, модель энергопотребления отраслей экономики и модель регионального энергопотребления. Каждая модель отражает свой аспект потребления электроэнергии. Описанный модельный комплекс позволяет получать долгосрочные прогнозы потребления электроэнергии в Украине. В сочетании со сценарным подходом этот модельный комплекс является эффективным инструментом, способным повысить качество прогнозов и принимаемых управленческих решений.

The article describes the methodological approaches to forecasting the volume of demand for electricity within the industrial region. The purpose of the article is to model the energy consumption in the industrial region, using complex models of long-term forecasting of energy consumption. The proposed set of models includes: a model of energy intensity of the economy, energy-consumption industries to create regional power. Each model reflects a different aspect of energy consumption. The described model system allows to receive long-term forecasts of electricity consumption in Ukraine. In conjunction with the scenario approach this complex model is a powerful tool that can improve the quality of forecasts and management decisions.

Касьянова Н. В.

Левшова Ю. О.

д-р екон. наук, проф. НАУ,
nat_kas@ukr.net
аспірант ДонНТУНАУ – Національний авіаційний університет, м. Київ;
ДонНТУ – Донецький національний технічний університет, м. Донецьк.

УДК 330.46

Касьянова Н. В., Левшова Ю. О.

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В РЕГІОНІ

Висока капіталоємність паливної промисловості та електроенергетики, їх тісні виробничі зв'язки з машинобудуванням, металургією та іншими галузями промисловості, транспортом і будівельним комплексом, а також значні витрати часу на спорудження енергетичних об'єктів, створення відповідної інфраструктури – усе це породжує велику інерційність паливно-енергетичного комплексу, що вона проявляється, зокрема, в неможливості за короткий строк різко збільшити обсяги виробництва, змінити склад потужностей в окремих галузях паливно-енергетичного комплексу та структуру енергетичного балансу країни. Електроенергія є одним з найбільш значимих продуктів проміжного споживання країни та складає вагому частку у витратах практично усіх галузей економіки. Дефіцит електроенергії в окремих регіонах і в країні в цілому неминуче призводить до обмеження економічного зростання.

Прогнозні довгострокові оцінки динаміки енергоспоживання в країнах, що розвиваються, придбавають особливу актуальність, оскільки є найважливішим невід'ємним елементом планів довгострокового розвитку електроенергетики та основою збалансованого зростання різних секторів економіки в майбутньому.

Макромоделі динаміки споживання електроенергії та методи їх побудови частково розглянуто у працях таких українських та зарубіжних вчених: Гордеєва В. І., Васильєва І. Е., Ізуцького В. Е., Коддингтона Е. А., Левинсона Н., Шевцова А. І., Баранніка В. О., Земляного М. Г., Франка Ю. П. [1–4]. Проте аналіз праць вказаних авторів показує недостатні прогностичні властивості цих моделей, складність обчислювальних процедур ідентифікації.

Відомі також статичні моделі характеристик споживання та генерування електроенергії, які розглянуто у працях Борисенка А. В., Сауха С. Е. [5]. Вказані моделі переважно будуються на основі регресійного аналізу із використанням критеріїв мінімізації середньоквадратичного відхилення прогнозованих та експериментальних даних, що не завжди є найбільш ефективним. Крім того, вищезазвані автори використовують моделі, що не охоплюють усього набору допустимих підходів по довгострокового прогнозування попиту на електроенергію, математичні методи використовувалися тільки для аналізу і моделювання окремих аспектів споживання електроенергії; відсутні інтегровані розробки, що включають економіко-математичні моделі та інформаційні бази, необхідні для формування сценарних прогнозів і прийняття управлінських рішень.

Мета даної статті полягає у моделюванні споживання електроенергії у промисловому регіоні на основі використання комплексу моделей довгострокового прогнозування енергоспоживання. Запропонований комплекс моделей прогнозування енергоспоживання включає такі моделі: модель енергоємності економіки країни, модель енергоспоживання галузей економіки та модель регіонального енергоспоживання. Кожна модель відбиває свій аспект споживання електроенергії.

При управлінні системи виробництва електроенергії необхідно вирішити декілька основних завдань:

- задоволення прогнозованого споживчого попиту на електроенергію з відповідним рівнем надійності енергопостачання;
- забезпечення мінімальних витрат в системі виробництва електроенергії;
- оцінка впливу на довкілля різних технологій виробництва електроенергії.

Важливість рішення цих завдань обумовлена потребою в плануванні попиту на електроенергію з боку промислових споживачів і домогосподарств, задоволенні цього попиту з найменшими фінансовими витратами, належним рівнем надійності та по прийнятних тарифах,

забезпеченні енергетичної безпеки країни, а також мінімізації викидів в довкілля електрогенеруючими об'єктами. Адже виробництво електроенергії не є самоціллю для енергетичної системи країни, бо, на відміну від інших товарів, електроенергію не можна «складувати». Тому першим і найважливішим кроком при плануванні розвитку енергосистем є прогнозування попиту на електричну та теплову енергію.

Точність прогнозування в електроенергетиці має особливе значення. Електроенергію не можна зберігати, її виробництво і споживання поєднані в часі, але при цьому будівництво енергооб'єктів характеризується довгим інвестиційним циклом. Тому, при формуванні стратегії розвитку енергетичної компанії необхідно чітко визначити які потужності будуть затребувані через декілька років, чи вистачить їх для покриття перспективного попиту на електроенергію.

В економічній науці існують різні методи щодо прогнозування попиту на електроенергію [6–8]:

- метод аналізу трендів;
- метод кінцевого споживання;
- економетричний метод;
- метод часових рядів;
- вдосконалені методи, такі як теорія хаосу, нейронні мережі, нечітка логіка;
- гібридні методи.

Складність прогнозування енергоспоживання полягає в тому, що енергетика є інфраструктурною галуззю – електроенергія споживається усіма сферами економіки та безпосередньо домогосподарствами. Існує дуже проста, але дуже точна модель прогнозування попиту, яка є функцією від розвитку економіки та зростання населення:

$$SE = k_p \times GDP \times k_e, \quad (1)$$

де SE – споживання електроенергії, k_p – коефіцієнт залежності від кількості населення країни, GDP – валовий внутрішній продукт, k_e – коефіцієнт еластичності електроспоживання по ВВП (відсоток приросту електроспоживання який припадає на 1 % приросту ВВП).

Приріст електроспоживання в Україні визначається економічним розвитком країни, тобто рівнем ВВП, та витратами домогосподарств (табл. 1). Була побудована регресійна залежність електроспоживання від зазначених чинників, множинний коефіцієнт кореляції дорівнює 0,89.

Таблиця 1

Чинники впливу на електроспоживання в Україні [9]

Рік	Споживання електроенергії, млн. кВт·г	ВВП, млн. \$	Населення, млн. чол.
2008	185159,9	948056	46,4
2009	169008,8	913345	46,1
2010	183900,2	1082569	46
2011	150768,3	1302079	45,8
2012	150721	1411238	45,6
2013	147264,40	1451876	45,6

Але зазначена регресійна модель не враховує цілу низьку чинників, наприклад, вплив енергозбереження на електроспоживання. Зрозуміло, що очікувані потреби країни в електроенергії для довгострокової перспективи визначатимуться, головним чином, річним приростом ВВП і зниженням його питомої енергоемності. Для кількісної оцінки потреб можна скористатися залежністю:

$$Q_{i+1} = Q_i(k_{GDP} - k_z), \quad (2)$$

де Q_i , Q_{i+1} – внутрішні потреби країни в енергії в i -му та $i+1$ -му році; k_{GDP} – коефіцієнт збільшення ВВП країни; k_z – коефіцієнт зниження питомої енергоємності ВВП.

При оцінці очікуваних значень коефіцієнтів збільшення ВВП та зниження питомої енергоємності ВВП слід враховувати наступні моменти: мала вірогідність різкої зміни структури промислового виробництва в країні до 2020 року за рахунок широкого використання наукомістких, енергозбережних технологій. Крім того, потрібно враховувати, що значення коефіцієнтів взаємозалежні. Як правило, моделі на основі методу кінцевого споживання є або симуляціями, або оптимізаційними. Зв'язок з макроекономікою часто обмежений використанням спеціальних або загальних впливаючих змінних, проте деякі моделі можуть використовуватися спільно з макромоделлю, яка описує її вплив.

Відмітною ознакою моделювання з використанням методу кінцевого споживання є детальний опис того, як використовується енергія. У такому разі моделювання зазвичай розпочинається з визначення видів кінцевого споживання енергії, таких як нагрів води, опалювання та кондиціонування будівель, освітлення, приготування їжі. Потім за допомогою математичних рівнянь модель описує роботу енергоспоживаючого устаткування, яким оснащені підприємства і житлові будинки, з урахуванням кількості споживаної цим устаткуванням енергії. Така модель вимагає велику кількість статистичних даних і додаткових досліджень, інакше завжди є ризик пропустити зміну реакції споживачів.

В межах даного дослідження пропонується комплекс моделей, які враховують як зовнішній вплив, так і особливості споживання енергії у промисловому регіоні. Графічна взаємодія моделей в комплексі представлено на рис. 1.

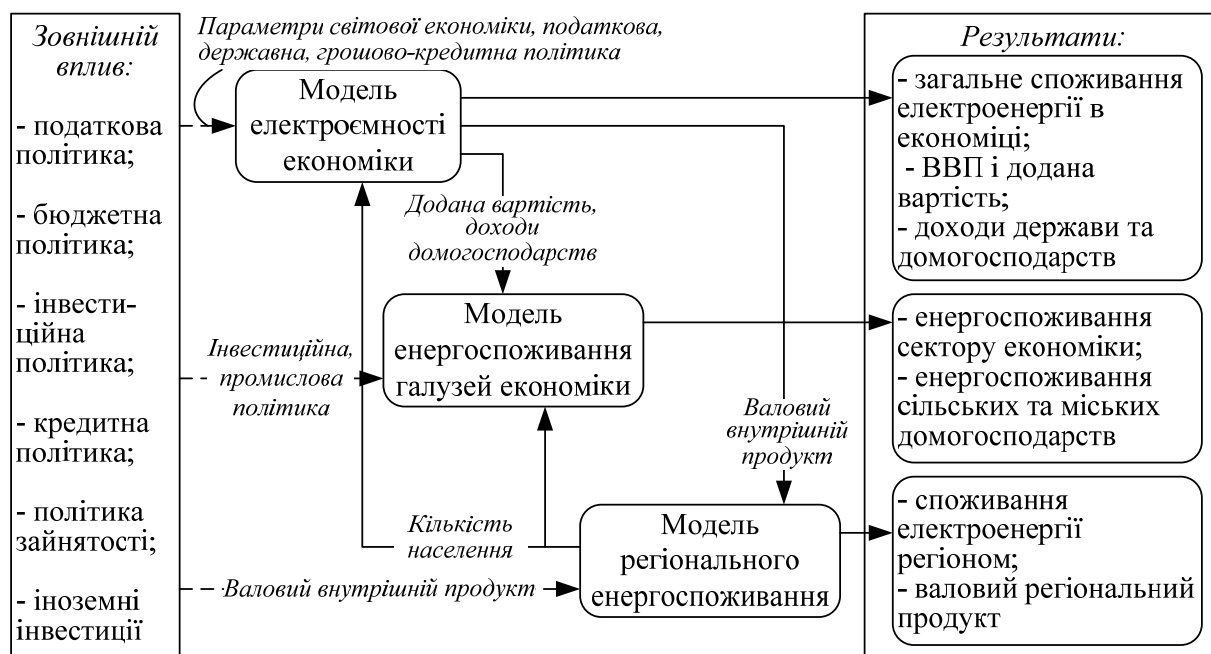


Рис. 1. Схема взаємодії комплексу моделей прогнозування енергоспоживання

Модель електроємності економіки призначена для прогнозування споживання електроенергії за допомогою методу прямого рахунку з використанням укрупненої структури ключових компонент, які розраховуються з використанням економетричних методів, гармонійно вписаних в систему рівнянь моделі.

У метод прямого рахунку використовується інформація про укрупнені питомі норми або узагальнені показники витрати електроенергії, а також планові або прогнозні дані про обсяги виробництва або розвитку галузей народного господарства. Оскільки достовірність

прогнозів обсягів виробництва і зміни питомих норм на віддалену перспективу залишається недостатньо високою, прогноз енергоспоживання доцільно приводити за методом сценаріїв. Таким чином, метод прямого рахунку поєднується з економетричним підходом.

Модель електроємності економіки може бути представлена системою рівнянь, які відбивають взаємозв'язки між реальним сектором, державним сектором і домогосподарствами (рис. 2).

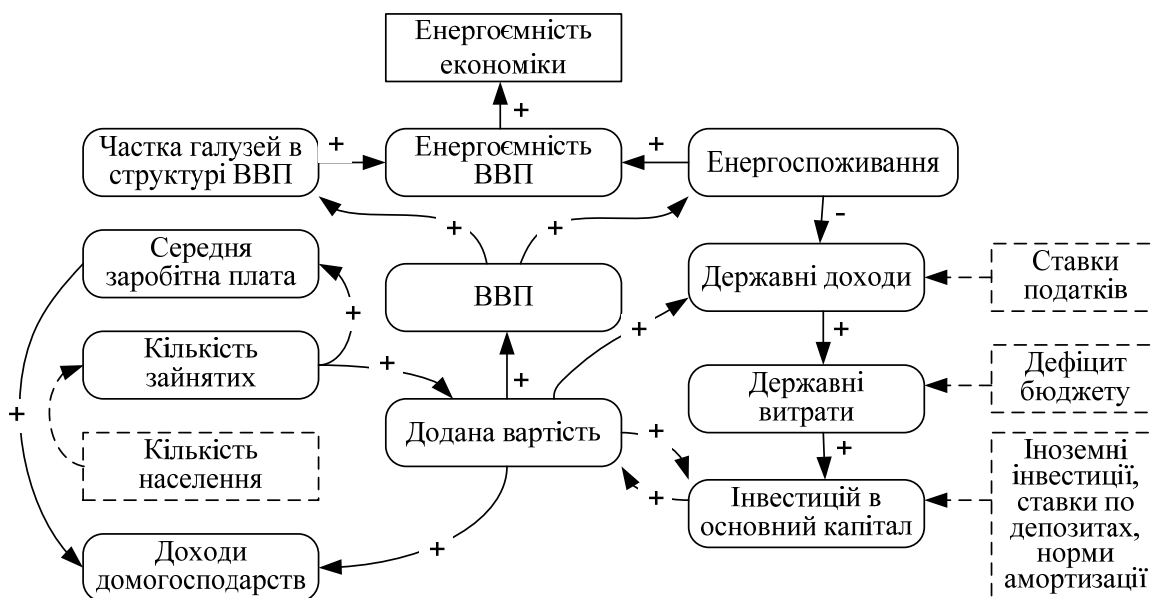


Рис. 2. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків електроємності економіки

Основними групами показників, що входять до моделі електроємності економіки є: податок на прибуток, податок на додану вартість, дефіцит бюджету, ставки по депозитах юридичних осіб, іноземні інвестиції, частка зайнятих в провідних галузях економіки, частка інвестицій в сектори економіки, норми амортизації основного капіталу.

Результуючі показники: споживання електроенергії, обсяг ВВП і складових його доданих вартостей секторів економіки, а також його електроємність, інвестиції в основний капітал, чисельність зайнятих по секторах і доходи домогосподарств.

Система диференційних рівнянь (3) містить основні залежності моделі електроємності економіки

$$\frac{dE_{GDP}}{dt} = \sum_i \frac{dEd_i}{dt} + \frac{dE_d}{dt}, \quad (3)$$

де E_{GDP} – електроємність ВВП; Eg_i – споживання електроенергії у i -й галузі; E_d – споживання електроенергії домогосподарствами.

Модель енергоспоживання галузей економіки побудована на методі кінцевого використання, який заснований на передумові, що попит на електроенергію є похідною від попиту на продукцію галузі, електроенергія розглядається у зв'язку з джерелами її споживання. Ця особливість враховується в моделях за допомогою питомих одиниць споживання електроенергії. Таким чином, за своєю природою метод кінцевого використання включає в явному виді ті взаємозв'язки, які в економетричних моделях враховуються неявно. Метод кінцевого використання є одним з напрямів широкого типу моделей, побудованих за принципом «знизу-вгору», відомих в зарубіжній літературі як «bottom-up models».

Для спрощення моделі галузі об'єднані в три основні групи: сільське господарство, промисловість та сфера послуг. Схема взаємовпливу показників моделі енергоспоживання галузей економіки приведена на рис. 3.

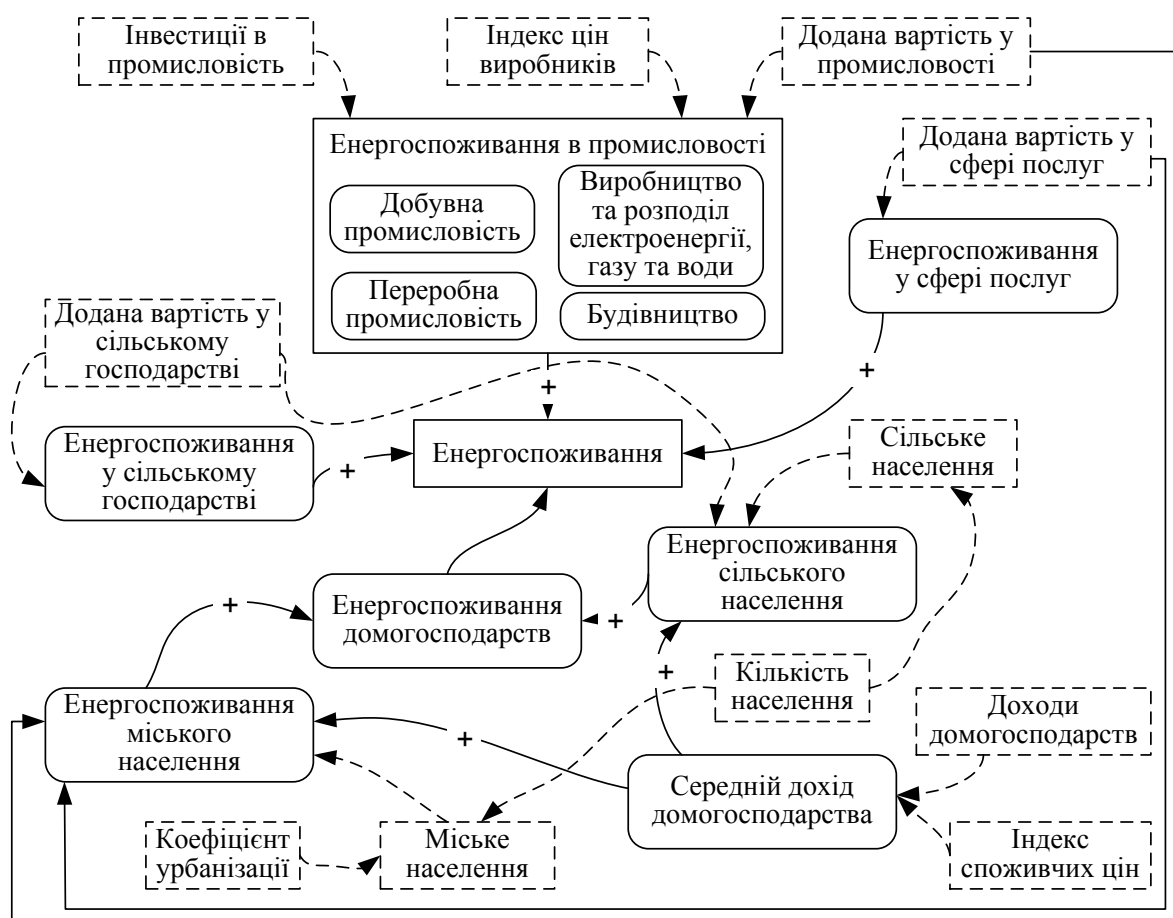


Рис. 3. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків енергоспоживання галузей економіки

Основними групами показників, що входять, є величини доданих вартостей галузей, обсяги інвестицій в галузь, що відбиває економічну активність в галузі, чисельність і доходи населення, що грають основну роль в моделюванні енергоспоживання сектора домогосподарств. Ключовими результуючими показниками моделі є обсяги спожитої електроенергії в галузях економіки населенням та величини їх енергомісткості. Система рівнянь (4) містить в собі основні залежності моделі енергоспоживання секторів економіки:

$$\begin{cases} E_{gi}(t) = F(DVg_i(t); E_{gi}(t-1)); \\ E_d(t) = E_d^m(t) + E_d^s(t); \\ E_{dm}(t) = F(D_m(t); Id(t); K_m(t)); \\ E_{sm}(t) = F(D_s(t); Id(t); K_s(t)). \end{cases} \quad (4)$$

де $DVg_i(t)$ – додана вартість, яка створена в період t в галузі i ; $E_d^m(t)$ – енергоспоживання міського населення в період t ; $E_d^s(t)$ – енергоспоживання сільського населення в період t ; $D_m(t)$, $D_s(t)$ – середній дохід домогосподарства відповідно міського та сільського населення; $Id(t)$ – індекс споживчих цін в період t ; $K_m(t)$, $K_s(t)$ – кількість домогосподарств міського та сільського населення.

Модель регіонального енергоспоживання призначена для прогнозування попиту на електроенергію в регіонах України, які потім агрегуються до макrorівня. В основі регіональних прогнозів закладені схожі методики моделювання процесу споживання електроенергії.

Модель є системою рівнянь, що описують динаміку споживання електроенергії в регіонах України, агрегуючих далі енергоспоживання до національного рівня. Схема взаємовпливу показників моделі регіонального енергоспоживання приведена на рис. 4.

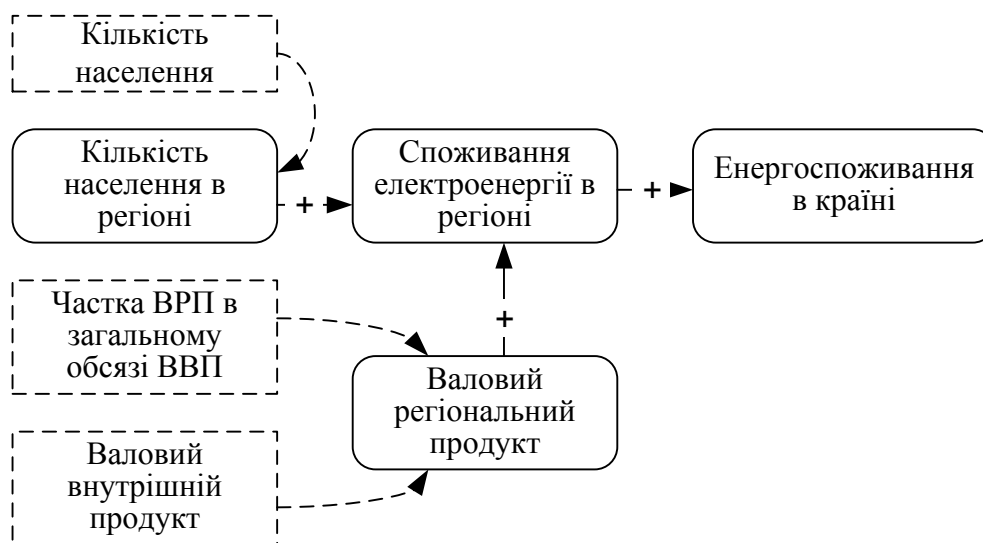


Рис. 4. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків регіонального енергоспоживання

Система рівнянь (5) моделі регіонального енергоспоживання:

$$\frac{dE_r}{dt} = F\left(\frac{dVRP}{dt}; \frac{dK_r}{dt}\right), \quad (5)$$

де E_r – обсяг енергоспоживання у регіоні; VRP – валовий регіональний продукт; K_r – чисельність населення у регіоні.

Основним показником моделі регіонального енергоспоживання є обсяг валового внутрішнього продукту країни, який декомпонується на валові регіональні продукти, згідно з екстрапольованими долями регіонів, що нормуються на прогнозному періоді для дотримання цілісності даних. Допустимість подібної методики обґрунтована відсутністю різких стрибків в динаміці часток ВРП у ВВП і достатньою прогностичною силою рівнянь, що описують їх.

Окрім обсягів валового регіонального продукту в моделі також врахований демографічний чинник у вигляді чисельності населення регіону, який прогнозується за допомогою трендів, переважно поліноміальних і лінійних. Ці методики є широко поширеними у світовій практиці, тим більше що для показників чисельності населення накопичені довші ряди.

Величина споживання електроенергії в регіонах розраховується за допомогою множення чисельності населення на душевий показник енергоспоживання, який моделюється за допомогою ВРП на душу населення. Ключовими результуючими показниками цієї моделі є обсяги спожитої електроенергії окремими регіонами.

Таким чином, ця модель також гармонійно поєднує в собі метод прямого рахунку і економетричний інструментарій. Це дозволяє стосовно цієї моделі скоротити кількість змінних, що входять, до всього лише одного чинника – ВВП, незважаючи на велику кількість розрахунків, обумовлену кількістю регіонів країни.

Описаний модельний комплекс дозволяє отримувати довгострокові прогнози споживання електроенергії в Україні. У поєднанні з сценарним підходом цей модельний комплекс є ефективним інструментарієм, здатним підвищити якість прогнозів і рішень, що приймаються на рівні державної політики.

ВИСНОВКИ

Таким чином, при прогнозуванні електроспоживання в регіоні слід спиратися не на прогнозну динаміку ВВП, а на індекси зростання виробництва галузей економіки і темпи зростання доходів населення (визначним при зростанні електроспоживання домашніх господарств є динаміка його доходів). Крім того, прогнозування споживання електроенергії необхідно вести в рамках формування перспективного балансу паливно-енергетичних ресурсів по країні в цілому і в розрізі окремих галузей та регіонів.

Таким чином, доцільно використання системного підходу з використанням комплексу моделей, що включає комплекс моделей, які враховують як зовнішній вплив, так і особливості споживання енергії у промисловому регіоні: модель електроємності економіки, модель енергоспоживання галузей економіки та модель регіонального енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордеев В. И. Управление электропотреблением и его прогнозирование / В. И. Гордеев, И. Е. Васильев, В. Е. Изуцкий – Ростов-на-Дону : Издательство Ростовского Университета, 1991. – 104 с.
2. Коддингтон Э. А. Теория обыкновенных дифференциальных уравнений. / Э. А. Коддингтон, Н. Левинсон – М. : Иностранная литература. – 1958. – 475 с.
3. Основні питання політики розвитку електроенергетичної галузі України: Аналітична доповідь / А. І. Шевцов, В. О. Бараннік, М. Г. Земляний [та інші]. – Дніпропетровськ, 2011. – 89 с.
4. Франко Ю. Інтервальні моделі характеристик споживання електроенергії / Ю. Франко // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» – 2.2007. – Том 1. – Технічні науки – С. 195–201.
5. Модель функціонування та розвитку генеруючих потужностей в ринкових умовах / А.В. Борисенко, С.Є. Саух // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2010. – Вип 25. – С. 21-32.
6. Малахов В. А. Подходы к прогнозированию спроса на электроэнергию в России / В. А. Малахов // Проблемы прогнозирования. – 2009. – № 2.
7. Методы и модели прогнозных взаимосвязей энергетики и экономики / Ю. Д. Кононов, Е. В. Гальперова, Д. Ю. Кононов [и др.] – Новосибирск : Наука, 2009. – 178 с.
8. Principles of Forecasting / A Handbook for Researches and Practitioners. – Kluwer Academic Publishers: New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. – 2001. – 862 p.
9. Україна у цифрах у 2013 році статистичний збірник / за ред. О. Г. Осауленка – Київ : Державна служба статистики України, 2014. – 240 с.
10. Amerighi O. Inventory and characterization of existing tools – ATEsT Models Characterization Report / O. Amerighi, U. Ciorba, M. C. Tommasino – ENEA, Italy – 2010. – 89 p.