

МОДЕЛЮВАННЯ КЛЮЧОВИХ АСПЕКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ

Досліджені теоретичні аспекти енергетичної незалежності країни, проаналізовані ключові аспекти вітчизняного та зарубіжного досвіду вирішення питання енергетичної незалежності, запропонована концепція та розроблена модель енергетичної незалежності країни на прикладі України. Запропонована модель дозволяє формувати обсяги видобутку дев'яти різноманітних видів джерел енергії, регулювати вплив енергозбереження на споживання енергії в країні, прогнозувати попит та пропозицію енергії в Україні, визначити показник енергетичної незалежності України.

Ключові слова: енергетика, енергетична безпека, енергетична незалежність, енергоефективність, енергозбереження, енергетичні ресурси, альтернативні та відновлювані джерела енергії, системно-динамічна модель.

Постановка проблеми. На тлі істотних змін, що відбуваються на міжнародній енергетичній арені, і глобального зростання цін на енергоносії Україна змушена відстоювати інтереси в сфері своєї енергетичної безпеки та енергетичної незалежності. В останні роки був порушений основоположний принцип енергетичної безпеки і в балансі виробництва електроенергії ядерна енергетика займає більше 50%. Не маючи повного циклу виробництва і поховання в атомній енергетиці, Україні загрожує енергетична залежність і ситуація може бути більш непередбачувана, ніж з газовими поставками.

Актуальність роботи обумовлена тим, що останнім часом різко загострилася наукова дискусія про доцільність використання всіх можливостей щодо зниження енергетичної залежності України за рахунок використання можливостей щодо зниження енерговитрат у валовому внутрішньому продукті, диверсифікації шляхів поставок, а також ефективного використання потенціалу традиційних та альтернативних паливно-енергетичних ресурсів. Сьогодні існує потреба негайного приведення сектора енергетики у відповідність до стратегічних інтересів держави.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній науковій літературі немає єдиного тлумачення понять «енергетична безпека» та «енергетична незалежність». Досить повно думки сучасних наукових шкіл з проблеми енергетичної безпеки викладені в роботі В. І. Рясіна. Вчені СЕІ СО РАН ім. Л. А. Мелентьева розумі-

ють енергетичну безпеку як стан захищеності життєво важливих інтересів особистості, суспільства і держави від загрози дефіциту в забезпеченні їх потреб економічно доступними паливно-енергетичними ресурсами прийнятної якості, а також від загрози порушення паливо- і енергопостачання споживачів.

Згідно з українським законодавством, енергетична безпека - це стан енергетики, який гарантує технічно та економічно безпечне задоволення поточних і перспективних потреб споживачів і охорону навколишнього середовища.

Рівень енергетичної безпеки та енергоефективність національної економіки можна охарактеризувати за допомогою показника енергетичної незалежності, який Т. І. Салашенко визначає як співвідношення власного видобутку до обсягу спожитих паливно-енергетичних ресурсів в економіці. Проблема досягнення енергетичної незалежності є актуальним завданням енергетичної політики не тільки для держав з перехідною економікою, до яких належить Україна, а й для багатьох країн світу.

Мета статті - розробка моделі енергетичної незалежності України. Об'єктом дослідження виступає енергетичний сектор економіки України. Предметом дослідження - структура взаємозв'язків енергетичних і економічних показників з показником енергетичної незалежності України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для багатьох країн світу питання енергетичної незалежності дуже актуальне, що наочно демонструє рис. 1.





Рис. 1. Енергетична залежність України та країн ЄС в 2016 р.
Джерело: розроблено автором

Свою енергетичну безпеку Україна може посилити за рахунок здійснення різноманітних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності економіки та пошуку альтернативних постачальників енергоносіїв. При цьому обидва аспекти взаємопов'язані. Диверсифікація енергоджерел і маршрутів транспортування імпортних енергоносіїв в країну представляє собою не тільки довгострокову державну політику, а й до того ж є метою, що досить дорого коштує.

Структура енергоспоживання України, в порівнянні з іншими країнами, є досить неефективною. Найбільшу частку в ній займає природний газ (39,7%), власний видобуток якого в країні обмежений, в той час, як альтернативні і поновлювані джерела енергії майже не використовуються - їх частка в енергоспоживанні країни становить менше 2%, в порівнянні зі Швецією

(26,7%), Австрією (24,3%), Фінляндією (19,5%), Португалією (17,4%).

Річний технічно досяжний енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії України є еквівалентним 80 т.у.п., його використання дозволяє заощадити близько 69, 6 млрд. м³ природного газу (табл.1). Однак оптимістичним оцінкам розвитку ринку альтернативної енергетики протистоять проблеми існування енергоємних технологій виробництва енергії.

Україна належить до числа країн-лідерів за рівнем споживання енергетичних ресурсів. На одиницю ВВП витрачається 89 кг умовного палива, що в 2,6 рази перевищує середній рівень енергоємності ВВП країн світу. За рахунок реалізації потенціалу енергозбереження енергоємність ВВП може скласти 0,24 кг у.п./грн., що в 2 рази менше її сучасного рівня.

Т а б л и ц я 1

Технічно досяжний енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії України в перерахунку на умовне паливо, млн. т.у.п.

Напрямок освоєння ВДЕ	Річний технічно досяжний енергетичний потенціал		Річні обсяги заміщення природного газу
	млрд. кВт. рік	млн. т.у.п.	млрд. м ³
Вітроенергетика	41,7	21	18,3
Сонячна енергетика	28,8	6	5,2
Геотермальна енергетика	105,1	12	10,4
Мала гідроенергетика	8,3	3	2,6
Біоенергетика	162,8	20	17,4
Енергетика навколишнього середовища	154,7	18	15,7
Разом	501,4	80	69,6

Джерело: розроблено автором

Вплив варіантів розвитку енергетики і народного господарства проявляється через систему прямих і зворотних зв'язків, вивчення яких необхідне для вирішення завдань, що виникають в тому, чи іншому вигляді на різних ступенях і рівнях планування і прогнозування енергетики. У даній роботі проаналізовано фактори, що впливають на показник енергетичної незалежності та виявлено наступні взаємозв'язки: споживання енергії залежить, перш за все, від чисельності населення країни і від величини валового внутрішнього продукту.

В результаті проведення стохастичного факторного аналізу побудовано моделі, представлені нижче. Так, модель попиту на енергію з боку населення (рис.2):

$$D_N = 93959494,73 + -50925,1 \cdot x + 695012,9 \cdot \ln(GDP) - 54662,9 \cdot \ln(N), \quad (1)$$

де D_N – попит на енергію з боку населення;

GDP- обсяг валового внутрішнього продукту за відповідний період;

N - чисельність населення відповідного періоду.

Модель попиту на енергію з боку підприємств (рис. 3):

$$D_p = 220432763,5 - 120389,1812 \cdot x + 1640038,048 \cdot \ln(GDP) + 24359,0959 \cdot \ln(\Pi), \quad (2)$$

де DP - попит на енергію з боку підприємств;

GDP- обсяг валового внутрішнього продукту за відповідний період;

Π - кількість зареєстрованих підприємств в Україні.

Прогноз загального рівня споживання енергії представлено на рис. 4.

У статті зроблено припущення щодо ключової ролі державної політики в питанні визначення обсягу виробництва енергії. Зростання обсягів виробництва визначається в моделі як керуючий вплив держави на галузь.

Для визначення наслідків цього впливу пропонується підрахунок вартості такого обсягу виробництва енергії. Для спрощення підрахунків в моделі використовуються середні значення вартості електроенергії, виробленої на різних типах електростанцій, і розраховується загальна сума витрат на енергетику.

Ще одним наслідком змін в обсягах виробництва енергії може стати площа землі, зайнята під відповідне виробництво. На основі попереднього досвіду за статистичними даними розрахована середня площа, необхідна для виробництва однієї тонни нафтового еквівалента енергії для різних типів генеруючих станцій (табл. 2).



Споживання енергії населенням



Рис. 2. Прогнозування попиту на енергію з боку населення
Джерело: розроблено автором

Виробниче споживання електроенергії



Рис. 3. Прогнозування промислового попиту на енергію
Джерело: розроблено автором

Прогноз споживання електроенергії в Україні

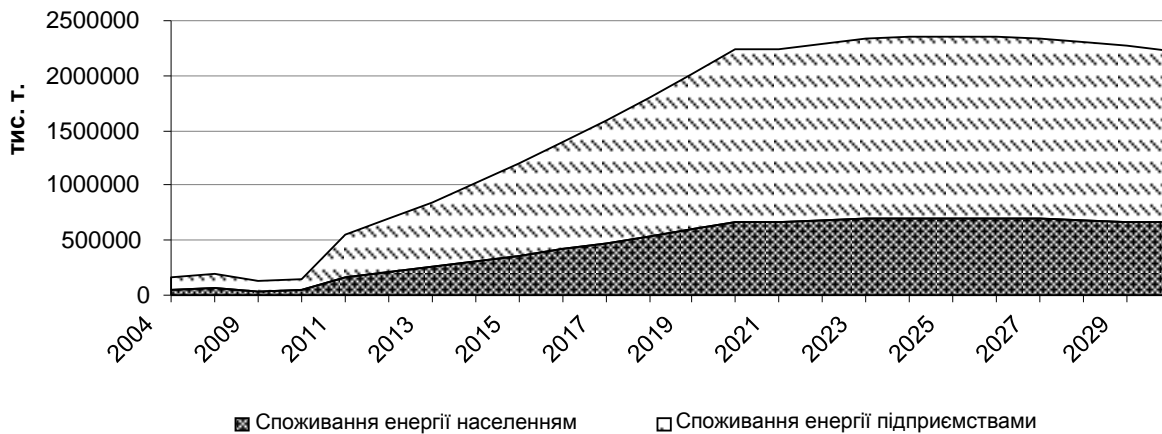


Рис. 4. Прогнозування загального споживання енергії в Україні
Джерело: розроблено автором



Т а б л и ц я 2

Середня площа, необхідна для виробництва 1 т.н.е. електроенергії

Назва генеруючої станції	га/т.н.е.
АЕС	0,73
ТЕС:	
На рідкому паливі	1,01
На природному газі	1,74
На вугіллі	2,79
Сонячні електростанції	116,30
ГЕС	308,19
Вітроенергетичні станції	1977,10

Джерело: розроблено автором

На основі цих даних розраховується загальна площа, необхідна для спланованого обсягу виробництва енергії в країні.

На основі даних за вмістом вуглецю в різних видах палива і даних щодо обсягів

викидів CO₂ за різними видами палива, наведених у табл. 3, розраховується загальний шкідливий вплив цього парникового газу на екологію, викликаний змінами в структурі енергетичної галузі економіки.

Т а б л и ц я 3

Обсяги викидів CO₂ за різними видами палива

Паливо	Вміст вуглецю (С, кг/кг палива)	Питома енергоемність (Квт·ч/кг палива)	Викиди CO ₂ (кг CO ₂ /кг палива)	Викиди CO ₂ (кг CO ₂ /кВтч)	Викиди CO ₂ (кг CO ₂ /т.н.е.)
Вугілля (бітум / антрацит)	0,75	7,5	2,3	0,37	4303,1
Бензин	0,9	12,5	3,3	0,27	3140,1
Легка нафта	0,7	11,7	2,6	0,26	3023,8
Дизельне паливо	0,86	11,8	3,2	0,24	2791,2
LPG - зріджений нафтовий газ	0,82	12,3	3	0,24	2791,2
Природний газ, метан	0,75	12	2,8	0,23	2674,9

Джерело: розроблено автором

У розрахунки не включені поновлювані і нетрадиційні джерела енергії через їх незначний вклад до забруднення навколишнього середовища. На основі розглянутих вище залежностей побудована наступна системно-динамічна модель (рис.5), реалізована за допомогою програмного продукту Any Logic 6.4.1. Professional.

Навести у статті детальний опис всіх блоків моделі не можливо через обмеженість обсягу, тому зупинимось на основних моментах. Так, до блоку моделювання чисельності населення, входить накопичувач Population, що представляє собою прогнозу чисельність населення, та потоки:

Natural Encrease - природний приріст населення і Migration Rate - механічний приріст, які, в свою чергу, залежать від часу:

$$NaturalEncrease = NEY + ParamNE \cdot LnTime \quad (5)$$

$$MigrationRate = MRY + ParamMR \cdot LnTime \quad (6)$$

Значення накопичувача Population визначається за допомогою диференціального рівняння:

$$\frac{d(Population)}{dt} = Population \cdot (NaturalEncrease + MigrationRate) \quad (7)$$

На підставі отриманого в моделі прогнозу про чисельність населення в країні моделюється попит на енергію, висунутого населенням:



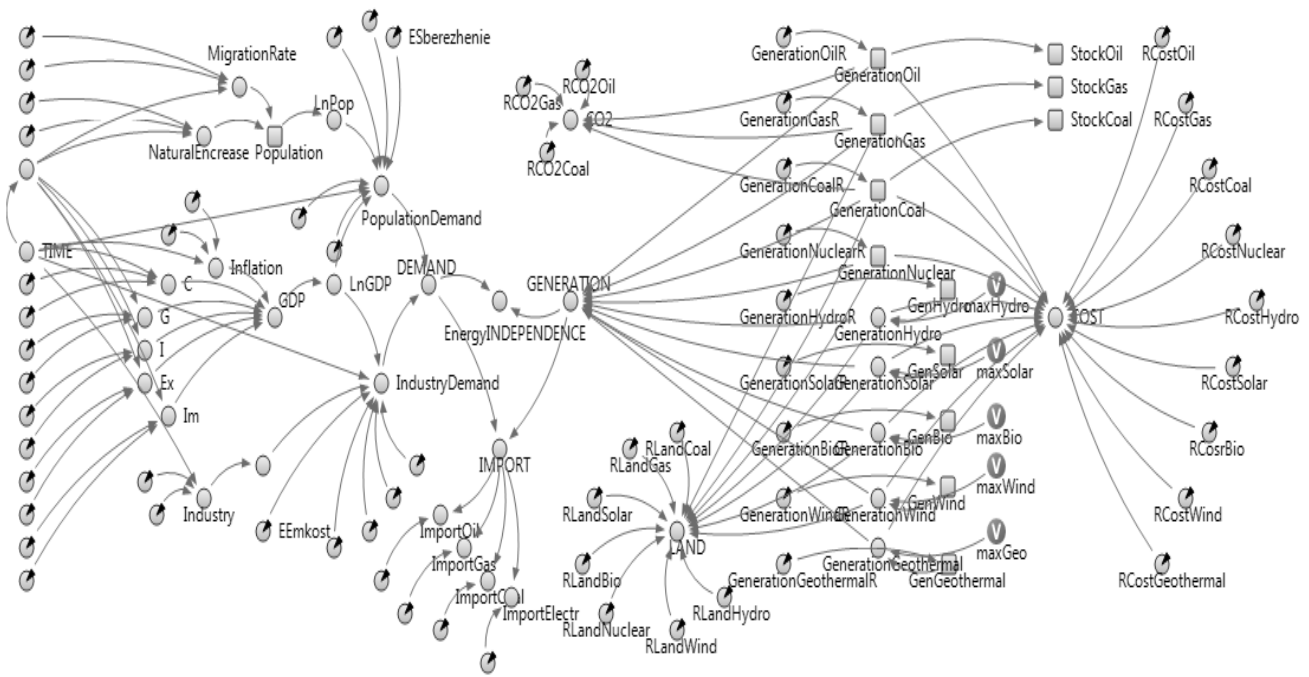


Рис. 5. Структура імітаційної моделі енергетичної незалежності
Джерело: розроблено автором

$$PopulationDemand = DemY + LnPop \cdot PopInfl + TIME \cdot Ppd + LnTime \cdot Ppd1 \quad (8)$$

Далі моделюємо ВВП через його компоненти: споживчі витрати, державні закупівлі, валові інвестиції і чистий експорт:

$$C = e^{(CY + ParamC \cdot TIME)} \quad (9)$$

$$G = e^{(GY + ParamG \cdot LnTime)} \quad (10)$$

$$I = e^{(IY + ParamI \cdot LnTime)} \quad (11)$$

$$Ex = e^{(ExY + ParamEx \cdot LnTime)} \quad (12)$$

$$Im = e^{(ImY + ParamIm \cdot LnTime)} \quad (13)$$

ВВП представляє собою суму даних категорій.

Кількість підприємств в Україні:

$$Industry = (IndY + ParamInd \cdot TIME) \quad (14)$$

Обсяг попиту на енергію з боку підприємств:

$$IndustryDemand = DemY + GDP \cdot \frac{GDP}{Infl} + Industry \cdot \frac{Ind}{Infl} + LnGDP \cdot \frac{LnGDP}{Infl} + LnIndustry \cdot \frac{LnInd}{Infl} \quad (15)$$

На підставі прогнозів про промисловий попит на енергію і попит на неї домогосподарств обчислюється загальна потреба країни в енергії. Загальне виробництво (GENERATION) складається з дев'яти основних видів джерел енергії: нафта і нафтопродукти, природний газ, вугілля, ядерна енергія, гідроенергія, сонячна енергія, біоенергія, вітрова та геотермальна енергія.

Альтернативні та відновлювальні джерела енергії невичерпні, проте вони обмежені річним потенціалом (maxHydro, maxSolar, maxBio, maxWind, maxGeo), який не дозволяє нарощувати видобуток даних видів енергії більше певного рівня. Швидкість приросту видобутку кожного виду енергії задається "вручну" за допомогою бігунків і міститься в параметрах (Generation OilR, Generation GasR, Generation CoalR, Generation NuclearR, Generation HydroR, Generation SolarR, Generation BioR, Generation WindR, Generation GeothermalR).

Далі обчислюються витрати, супутні вибраному рівню виробництва енергії, на основі статистичних даних, отриманих з досвіду інших країн щодо впровадження ідентичних технологій і підсумовуються в загальному вихідному показнику даного блоку - COST. Параметри RCO2Oil, RCO2Gas, RCO2Coal обчислені на основі теплотворних властивостей відповідних видів традиційних ПЕР.





У даній моделі імпорт енергоносіїв є вихідним параметром і обчислюється як різниця між попитом і внутрішньою пропозицією енергії в Україні. Допускається можливість регулювання частки різних видів ресурсів в імпорті. Енергетична залежність являє собою відношення загальної кількості імпортованих ПЕР до загальної кількості споживаних в країні ПЕР, енергетична незалежність, відповідно, вимірюється співвідношенням споживання та внутрішнього виробництва паливно-енергетичних ресурсів. Завершальний і основний блок моделі - обчислення показника енергетичної незалежності.

Провівши експеримент варіювання параметрів, можна зробити висновок про те, що приріст виробництва енергії за рахунок альтернативних і поновлюваних джерел здатний підвищити рівень енергетичної незалежності (рис. 7). Так, при різниці в темпах приросту обсягу генерації енергії 5%, до 2030 року показник енергетичної незалежності зріс майже в 2 рази і продовжує зростати. Однак, рівень залежності, як і раніше залишається високим, в зв'язку з високою швидкістю росту прогнозованого попиту на енергію.

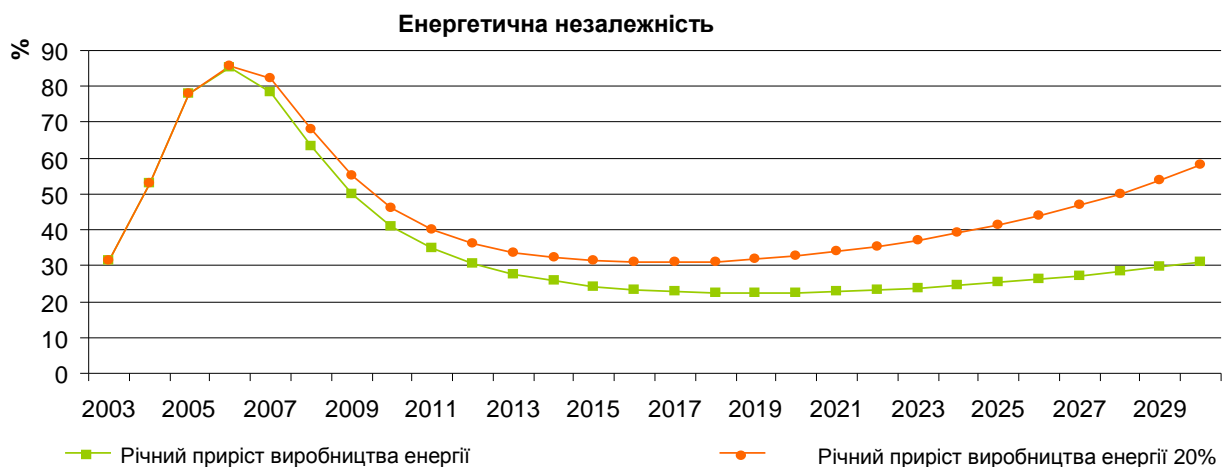


Рис. 7. Зміна енергетичної незалежності за рахунок використання річного потенціалу альтернативних і поновлюваних джерел енергії
Джерело: розроблено автором

Висновки та перспективи подальших досліджень. В роботі запропоновано системно-динамічну модель, що описує динаміку розвитку енергетичного сектора України. Проведено імітаційні експерименти, що дозволяють зробити висновки про рівні виробництва кожного виду ПЕР, витрат на їх виробництво, рівні енергетичної незалежності при даному обсязі виробництва, та також дозволяє порівнювати вплив на показник енергетичної незалежності додаткового приросту обсягу видобутку певних видів енергетичних ресурсів і підвищення енергоефективності економіки, яке виражається в показниках енергоемності ВВП та енергозбереження.

Література

1. Паливно-енергетичні ресурси України: [статистичний збірник / за ред. Піщейко В.О.]. – К.: Державна служба статистики України, 2011. – 316с.

2. Україна у цифрах 2010: статистичний збірник / за ред. О.Г. Осауленко. – К.: Державний комітет статистики України, 2011. – 252 с.

3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: уаціональна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / Геєць В. М., Ященко Ю. П., Григоровський В. В., Лір В. Е.. – К.: НАЕР, 2009. – 93с.

4. Титко Р. Відновлювані джерела енергії (досвід Польщі для України) / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава-Краків-Полтава, 2010. – 533с.

5. Офіційний сайт Державного комітету статистики України. Україна у цифрах за 2007 – 2016 роки. Статистичні збірники / за ред. О.Г. Осауленко. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>

6. Шевцов А. І. Енергетична незалежність. Шляхи та ціна забезпечення: аналітична записка / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний. –

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/54.htm>

7. Energy Outlook 2030. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/O/2012_2030_energy_outlook_booklet.pdf

8. Statistical Review of World Energy June 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bp.com/liveassets/albp.pdf>

9. International Energy Agency (IEA) Statistics & Balances. – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.iea.org/index.asp>

10. Key World Energy Statistics. International Energy Agency. – France: SOREGRAPH, 2011. – 80 p.

References

1. *Pishechko, V. O.* (2011). Fuel and energy resources of Ukraine. Kyiv: The state statistics service of Ukraine, 316.

2. *Osauleiko, O. G.* (2011). Ukraine in figures 2010. Kyiv: The state statistics Committee of Ukraine, 252.

3. *Osauleiko, O. G.* (2016). The official website of the State statistics Committee of Ukraine. Ukraine in figures for 2007 - 2016. **Деркач І. А.**

Моделирование ключевых аспектов энергетической независимости Украины

В статье исследованы теоретические аспекты энергетической независимости государства, проанализированы ключевые аспекты отечественного и зарубежного опыта решения вопроса энергетической независимости, предложена концепция и разработана модель энергетической независимости страны на примере Украины. Предложенная модель позволяет формировать объемы добычи девяти различных видов источников энергии, регулировать влияние энергосбережения на потребление энергии в стране, прогнозировать спрос и предложение энергии в Украине, определять показатель энергетической независимости Украины.

Ключевые слова: энергетика, энергетическая безопасность, энергетическая независимость, энергоэффективность, энергосбережение, энергетические ресурсы, альтернативные и возобновляемые источники энергии, системно-динамическая модель.

Derkach I.

Modeling key aspects of Ukraine's energy independence

Explored theoretical aspects of the state's energy independence, analysed key aspects of domestic and foreign experience of solving the issue of energy independence, proposed the concept and developed the model for energy independence in Ukraine. The proposed model allows to simulate the production volumes nine different types of sources of energy, regulate the impact of energy efficiency on energy consumption in the country, to predict the supply and demand of energy in Ukraine, determine the indicator of energy independence of Ukraine.

Keywords: energy, energy security, energy independence, energy efficiency, energy conservation, energy resources, alternative and renewable energy sources, system-dynamic model.

Рецензент: Иванов М. М. – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент» Класичного приватного університету, Запоріжжя, Україна.

Reviewer: Ivanov M.. – Professor, Ph. D. in Economics, Head of Management Department, Classic Private University, Zaporizhzhia, Ukraine.

e-mail: kvp_ruk@mail.ru

tistical compilations. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua>.

4. *Gejets, V. M. & Yaschenko, Y. P. & Grigorovsky, V. V. & Lir V. E.* (2009). Energy efficiency as a resource of innovative development: National report on the status and prospects of implementation of the state policy of energy efficiency in 2008. Kyiv: NAER, 93..

5. *Titco, R. & Kalinichenko, V.* (2010). Renewable energy sources (Polish experience for Ukraine). Kyiv: Warsaw-Krakov-Poltava, 533.

6. *Shevcov, A. I. & Zemlyaniy, M. G.* (2002). Energy independence. Ways and cost of security: an analytical note. Retrieved from <http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/54.htm>.

7. Energy Outlook 2030 (2016). Retrieved from <http://www.bp.com/liveassets/bpdf>.

8. Statistical Review of World Energy June 2011 (2011). Retrieved from http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/.pdf.

9. International Energy Agency (IEA) Statistics & Balances (2016). Retrieved from <http://www.iea.org/stats/index.asp/>

10. Key World Energy Statistics. International Energy Agency (2011). France: SOREGRAPH, 80.

Статья подана
27.12.2016 р.

