

УДК 620.9:519.868

Р. З. Подолець, канд. ек. наук,

О. А. Дячук, канд. техн. наук

ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України», м. Київ

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ В ПЕК І ФОРМУВАННЯ ПРОГНОЗНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ НА БАЗІ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ «TIMES-УКРАЇНА»

Розроблено інформаційно-аналітичну систему, яка дозволяє якісно аналізувати структуру енергетичних, матеріальних та фінансових потоків енергетичної системи України, формувати прогнозний і досліджувати звітний енергетичний баланс, розраховувати альтернативні сценарії розвитку енергетичної системи України тощо.

Ключові слова: *енергетична система, енергетичний баланс, модель, інформаційно-аналітична система «TIMES-Україна»*

Вступ. Динаміка розгортання фінансово-економічної кризи останніх років не стільки показала недосконалість існуючих державних програмних документів, як довела безперспективність організації роботи з їх створення за умов неузгодженого відомчого або галузевого підходу та несистемного «ручного» розрахунку. Неузгодженість при формулюванні пріоритетних заходів енергетичної політики, особливо за умов обмежених можливостей державного фінансування, може призвести до ситуацій, коли впровадження окремих енергозберігаючих технологій сприятиме скороченню споживання без дефіцитного дешевого ресурсу, а стимулювання виробництва такого ресурсу призведе до диспропорцій між встановленими потужностями, логістичною мережею та ємністю ринку.

При оцінці варіантів енергетичних стратегій, питання ефективності структури енергетичного балансу України закономірно розглядається як одне з ключових. Для досягнення оптимальної структури енергобалансу необхідним є прийняття комплексних загальнодержавних рішень, оскільки згадані проблеми виходять за виключно галузеві рамки. Тому, при моделюванні енергетичної системи, її необхідно розглядати як єдину виробничо-господарську структуру, що складається з автономних інтегрованих підсистем, взаємне функціонування яких узгоджується з динамікою розвитку економіки із врахуванням зміни ринкового середовища, обмежень екологічного та соціального

характеру. Ефективність такої узгодженості не може бути досліджена на рівні лише технічної або економічної систем, оскільки досліджуватись повинен весь комплекс виробничих та економічних зв'язків на галузевому, міжгалузевому та макроекономічному рівнях.

Постановка задачі. Найбільш раціональним способом обґрунтування прогнозних показників енергетичного балансу є започаткування практики використання інформаційно-аналітичних систем (ІАС), створених на базі економіко-математичної моделі енергетичної системи. За допомогою таких ІАС можна адекватно відображати всю енергетичну систему країни, представляючи енергетичні процеси за детальною технологічною структурою з визначеними економічними та екологічними параметрами, а також проводити багатоваріантні розрахунки її розвитку за альтернативними економічними сценаріями.

Ідентифікація енергетичної системи України є першим кроком до її відображення у математичній моделі, проведення експериментальних розрахунків і аналізу її стійкості та керованості. При вивченні енергетичної системи найперше потребують визначення питання щодо її границь, елементів, внутрішніх та зовнішніх зв'язків, а також цілей дослідження та часового горизонту моделювання.

Хоча з технічної точки зору функціонування енергетичних систем й відбувається за фізичними, детермінованими законами, більшість процесів, що становлять інтерес для цієї роботи, відбуваються в економічній площині під дією соціальних законів. Тому й саме поняття «енергетична система країни», яке буде використовуватися, у цьому контексті є більше економічним, ніж технічним.

Наявний доробок. Сьогодні розробкою економіко-математичних моделей для дослідження проблем енергетичного сектора України займаються декілька груп науковців. Так, в Інституті загальної енергетики НАН України була побудована система математичних моделей для прогнозування та розвитку ПЕК України та його галузевих підсистем, створено економіко-математичну модель параметричної оптимізації міжгалузевого балансу ПЕК країни. В Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України розроблено моделі функціонування енергосистеми у короткостроковому періоді в умовах недосконалої конкуренції, довгострокову модель розвитку теплової енергетики України, програмно-інформаційну систему для підтримки прийняття рішень щодо планування розвитку потужностей ТЕС в ринкових умовах.

Мета і методи досліджень у згаданих розробках істотно відрізняються від запропонованих у даній роботі. Зокрема, об'єктом досліджень є не весь енергетичний сектор, що потрібно для розробки прогнозного енергетичного балансу, а лише його частина — електроене-

ргетична галузь, газотранспортна галузь нафтогазового комплексу тощо. Крім того, більшість галузевих досліджень обмежувалися лише вивченням сектора виробництва та трансформації енергії, минаючи сектор кінцевого споживання, а прикладна реалізація таких розробок часто проводилася засобами стандартних офісних програм.

В Державному центрі систем контролю та аварійного реагування Міністерства палива та енергетики України використовується пакет програмних модулів ENPER, що дозволяє в оперативному режимі проводити моніторинг, а також коротко і середньостроковий прогноз параметрів розвитку ПЕК. Технологічний характер ENPER є особливо ефективним при проведенні ітераційних розрахунків в поєднанні з моделями інших типів — енерго-економічними моделями часткової рівноваги та оптимізаційними моделями.

Найбільш поширеним методологічним підходом до складання прогнозів енергетичного балансу є розробка оптимізаційної моделі енергетичної системи, використовуючи при цьому лінійне програмування, що дозволяє відносно доступно та точно відтворити структурні зміни в дизагрегованій моделі. Такі моделі дозволяють провести комплексний аналіз постачання, переробки та споживання енергоресурсів та виявити вплив технологічних чинників або цін на енергоресурси на структуру енергосистеми. Водночас, повні витрати на впровадження нових технологій або зворотні економічні зв'язки в моделях енергетичної системи врахувати доволі важко, наприклад такі, як вплив зростання вартості енергоресурсів на попит на енергетичні послуги та структуру економіки загалом. Відповідно, макроекономічні показники (ВВП, зайнятість населення) представлені в моделі екзогенними змінними. Тому при значних трансформаціях структури економіки неврахування макроекономічних взаємозв'язків може призвести до меншої реалістичності математичної моделі. Для уникнення цього дослідження на базі моделей енергетичної системи часто поєднують з використанням макроекономічних моделей з детальним представленням енергетичного сектора (енерго-економічних моделей).

Модель «TIMES-Україна». В ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України» протягом 2006-2008 років в рамках науково-технічних проектів НАН України була розроблена економіко-математична модель «TIMES-Україна» [1] для стратегічного планування розвитку ПЕК та прогнозування енергетичного балансу України. За результатами виконання цих науково-дослідних робіт було отримано авторське свідоцтво ДДІВ на Твір наукового характеру «Звіт з науково-технічного проекту «Розробка інтегрованої енергетично-економічної моделі базових секторів паливно-енергетичного комплексу України» (дата реєстрації 27.08.2008 р.).

Модель TIMES-Україна є оптимізаційною лінійною квазідинамічною моделлю енергетичної системи (виробничого типу) із заданим попитом. Вона побудована з урахуванням існуючих державних статистичних класифікаторів і базується на звітних формах державних статистичних спостережень з пографною деталізацією. Україна представлена єдиним регіоном. Базовим роком є 2005, проте для врахування впливу світової фінансово-економічної кризи в модель також включені дані за 2006—2009 років.

Енергетична система України розділена в моделі на сім секторів: сектор постачання енергоресурсів; сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла; промисловість; населення; комерційний і бюджетний сектори; транспорт; сільське господарство. Ці сектори забезпечують видобуток, переробку, транспортування, постачання енергоресурсів та надання енергетичних послуг для задоволення потреб кінцевих споживачів. Структура цих попитів є різною і залежить від характеру потреб кожної категорії споживачів.

Звичайно, поняття потреби є занадто загальним, і враховуючи різноманітну природу людських потреб та їх фактично безмежний характер, багатьма дослідниками неодноразово пропонувалися способи їх категоризації. Проте для задачі прогнозування енергетичного балансу потреби по кожній групі споживачів повинні бути ідентифіковані в такий спосіб, щоб із урахуванням альтернативних енергетичних технологій виробництва продукції або послуг можна було зробити оцінки попиту за окремими енергоресурсами. Під енергетичною технологією тут розуміється будь-яка установка або пристрій, що виробляє, перетворює, розподіляє або споживає енергію. Ще однією обов'язковою умовою при ідентифікації потреб є можливість їх адекватного обліку, і, відповідно, їх кількісної і вартісної оцінки. Введення в процес дослідження категорії енергетичного попиту та потреб дозволило коректніше відобразити сутність об'єкту моделювання.

Технологічні процеси в моделі розділені на чотири типи:

- технології видобутку енергетичних ресурсів;
- технології виробництва вторинних енергоресурсів (наприклад, коксу чи нафтопродуктів);
- технології виробництва електроенергії і тепла;
- технології кінцевого споживання в різних секторах.

Кожна технологія в моделі «TIMES-Україна» визначається унікальною назвою, коротким описом, питомими частками вхідних і вихідних продуктів, а також набором специфічних параметрів. Аналогічно для однозначної ідентифікації енергоресурсів, що використовуються у різних секторах, кожному з них надається унікальна назва.

Для технологій, представлених в моделі, можна задати параметр устарівання, який вказує на те, що ця технологія була встановлена до базового року, в попередні роки і, можливо, потребує інвестицій для забезпечення в майбутньому тієї ж потужності, яка була в базовому році. Тобто, характеристика устарівання технології дозволяє змінювати характер її параметрів з плином часу.

Капітальний ремонт (*модернізація*) потужностей базового року сприйматиметься моделлю як введення нового технологічного процесу з відповідними капітальними (інвестиційними) витратами. Альтернативою модернізації є введення принципово нових технологій. Наприклад, в транспортному секторі новими технологіями є електромобілі, в секторі постачання — технології виробництва нових синтетичних видів палива і т.д. Набір нових технологій утворює свого роду бібліотеку, серед якої вибираються технології, що найкраще задовольняють умови розрахунку.

Міжнародна торгівля за всією номенклатурою енергоресурсів та деякими видами промислової продукції представлена в моделі окремими процесами за регіонами — торгівля з країнами Європейського Союзу, Росією та іншими країнами світу.

Зміни складських запасів представлені в секторі постачання у вигляді технологій, що фіксують наявні залишки на початку та кінці базового року та визначають характер поповнення та використання цих запасів протягом прогнозного періоду.

В моделі розраховуються обсяги *викидів шкідливих речовин*: вуглекислий газ, чадний газ, метан, двоокис сірки, оксиди азоту, веселящий газ, частки РМ 2.5 та РМ 10, летючі органічні сполуки тощо. Використаний алгоритм дозволяє оцінити обсяги викидів як по окремому сектору, так і за типом технологічного процесу.

Календарний рік розбитий в моделі на 12 *проміжків часу*, що відповідають 4 порам року та 3 періодам доби (день, ніч та пік). Прогнозний часовий горизонт розбитий на однакові періоди по 3 роки, в яких оптимальний розв'язок для попереднього періоду є вхідною інформацією для наступного.

Наповнена *база даних моделі* містить інформацію про обсяги і сезонні коливання попиту на енергію, вираженого у вигляді потреб за секторами і регіонами енергетичної системи; ціни, обсяги і сезонну доступність різних видів енергії і палива на міжнародних і національних ринках, а також вартість і можливі обсяги власного видобутку первинних енергоресурсів; техніко-економічні характеристики енергетичних технологій; графіки споживання електроенергії тощо.

Метою використання моделей енергетичних систем, до яких належить «Times-Україна», є пошук оптимальної комбінації технологіч-

них рішень, що відповідає накладеним сценарним умовам і обмеженням. Причому структура енергетичних технологій в кожному окремому секторі може виявитися не оптимальною, якщо цей сектор розглядатиметься окремо, оскільки в даному випадку об'єктом дослідження є вся енергосистема України. Для зміни умов розв'язку задачі із виокремленням локальних оптимумів моделі необхідним є формулювання відповідних сценарних обмежень за окремими секторами або внесення змін в математичний алгоритм розрахунку в цілому.

Загалом *сценарні обмеження* моделі можна умовно розділити на чотири категорії: технологічні, політичні, бюджетні та екологічні. Технологічні обмеження відповідають сценаріям зміни технічних параметрів або характеру використання енергетичних технологій. Політичні обмеження накладаються відповідно до визначених пріоритетів і заходів державної енергетичної політики. Бюджетні обмеження визначають доступність інвестиційних коштів для модернізації і введення нових потужностей за часом і категоріями енергетичних технологій. Екологічні обмеження можуть накладатися відповідно до діючої державної системи контролю або прийнятими Україною міжнародними зобов'язаннями щодо викидів ПГ.

Хоча формування основних найбільш важливих математичних рівнянь та обмежень, необхідних для належного представлення енергетичної системи, забезпечує генератор TIMES (баланс енергетичних і матеріальних потоків, основні технологічні процеси, розрахунок значення цільової функції за обсягами фінансових потоків), майже завжди користувачу необхідно вводити додаткові обмеження, щоб врахувати специфіку досліджуваної ним енергосистеми і таким чином підвищити адекватність моделі. Така необхідність часто пов'язана з кластерами технологій. Наприклад, коли для окремих технологій або виробників (сонячна або вітроенергетика) можуть бути адміністративно встановлені спеціальні умови функціонування, не властиві для інших учасників ринку.

Для того, щоб встановити подібного роду обмеження використовують, так звані, *обмеження користувача*, які сам користувач має побудувати. Обмеження користувача можуть накладатися одразу на множину змінних моделі (за регіонами, часовими періодами, типами технологій чи енергоресурсів), а також множину вхідних параметрів.

Як і годиться для такого роду моделей, при побудові моделі «Times-Україна» насамперед було проведено процес *калібрування* першого (базового) року. Цей процес передбачав вибір конфігурації визначених енергоресурсів та технологій, із знанням того, яка структура енергетичної системи є в перший рік моделі, із забезпечення того, щоб модель була відкалібрована також і в майбутньому.

Після того, як модель була відкалібрована, наступним кроком було створення базового сценарію, що описує ймовірний розвиток

енергетичної системи без суттєвих змін в політиці держави, економіці та технологічному устрої, але керуючись найкращими аналітичними прогностичними судженнями. Згодом модель була використана для дослідження альтернативних варіантів розвитку (еволюції) енергетичної системи України.

Для практичної реалізації моделі «Times-Україна» використовувався цілий набір інформаційно-технологічних засобів (рис. 1), що утворює так званий ІТ-ландшафт моделі.

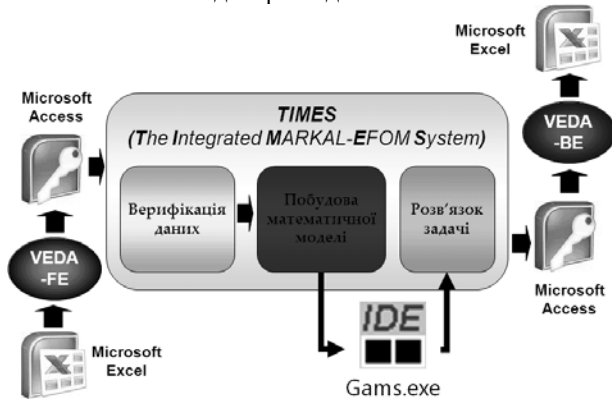


Рис. 1. ІТ-ландшафт моделі «TIMES-Україна»

По суті, цей ІТ-ландшафт разом із повною базою даних економіко-математичної моделі "Times-Україна" і утворює інформаційно-аналітичну систему для стратегічного планування в ПЕК і формування прогностичного енергетичного балансу України, яку скорочено називатимемо ІАС «Times-Україна».

ІАС «Times-Україна» містить програмні оболонки VEDA Front End (VEDA-FE) [2] для підготовки даних для моделювання та VEDA Back End (VEDA-BE) [3] для аналізу результатів моделювання та підготовки звітів. Загалом система VEDA (Versatile Data Analyst — всебічний аналіз даних) розроблялась як оболонка для роботи з комплексами економіко-математичних моделей, які вимагають екстенсивної роботи з великими обсягами даних, використання отриманих результатів моделювання та розробки звітів. Особливостями VEDA є принцип забезпечення прямого доступу до власних та зовнішніх даних, синхронізація бази даних, автоматичне ведення документації, модульність структури, сумісність з СУБД, інтегрованість з компонентами MS-Office, візуальне представлення даних, вбудовані фільтри та потужні пошукові інструменти, підтримка створення мультирегіональних моделей.

Інформаційні перетоки в ІАС «TIMES-Україна», що зображений на рис. 1, відбуваються наступним чином: вхідна інформація за-

дається в табличному редакторі Microsoft Excel, де зчитується, обробляється і передається програмною оболонкою VEDA Front End до бази даних моделі, використовуючи СУБД Microsoft Access. Далі, за допомогою генератора оптимізаційних моделей енергетичних систем TIMES [4] на алгоритмічному рівні створюються стандартні рівняння оптимізаційної задачі (створюється матриця коефіцієнтів). Згодом, матриця коефіцієнтів, передається в середовище GAMS [5], де формується математична модель енергетичної системи і відбувається безпосередньо розв'язання оптимізаційної задачі. Оптимальний розв'язок, отриманий за допомогою GAMS, знову передається до бази даних моделі в Microsoft Access. За допомогою програмної оболонки VEDA Back End виконується доступ до новоствореної бази даних оптимального розв'язку і виконуються операції з форматування, трансформації даних з математичних коефіцієнтів у зрозумілі для користувача терміни і представленні розв'язків задачі у вигляді табличних звітів. Використовуючи ІАС «TIMES-Україна», користувач, для внесення вхідної інформації про енергетичну систему, має справу виключно з файлами табличного редактора Microsoft Excel. Отримані вихідні аналітичні дані можуть бути легко імпортовані не тільки у excel-файли, як зображено на рис. 1, але й в файли текстового формату (*.doc, *.docx, *.txt) і в HTML формат. Окрім табличного представлення результатів моделювання, в VEDA-BE передбачена можливість представлення їх у графічному вигляді. Графік, так само як і таблиця VEDA-BE, може бути легко скопійований в буфер обміну і згодом вставлений у потрібне місце. VEDA-BE дозволяє оновлювати раніше створені файли. Використовуючи цю можливість, користувач може створювати звітні excel-файли, які містять набір експортованих з VEDA-BE таблиць з необхідною інформацією і оновлювати його за потреби. Причому, з метою порівняння результатів можна одночасно експортувати дані для будь-якої кількості сценаріїв.

Для отримання агрегованої схеми енергетичного балансу, наприклад, за формами Міжнародного енергетичного агентства або статистичної організації Європейської Комісії (Євростат), необхідно вибрати або створити набір таблиць VEDA-BE, експортувати їх до Microsoft Excel, де засобами самого табличного редактора створити звідну таблицю з необхідним рівнем агрегуванням показників виробництва та використання енергоресурсів. На рис. 2 показаний приклад агрегованої схеми енергетичного балансу в excel-книзі.

Інформаційно-аналітична система «TIMES-Україна» зорієнтована на дослідження наступних задач:

- формування прогнозного і дослідження звітного енергетичного балансу України; якісний аналіз структури енергетичних, матеріальних та фінансових потоків із врахуванням факторів взаємозаміщення ресурсів в залежності від параметрів конкретної технології;

- прогнозування динаміки обсягів викидів парникових газів;

Balance-UA-Ukr-01									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	Україна								
4		PET		2005	2010	2015	2020	2025	2030
5	Виробництво			3114	3240	3745	3763	3360	2875
6	Вугілля			1297	1399	1718	1506	1121	754
7	Сира нафта			188	170	255	428	420	256
8	Газ			663	627	703	724	742	761
9	Ядерне паливо			940	997	997	997	943	943
10	Біомаса та відходи			26	47	72	108	135	161
11	Імпорт			3504	3165	3359	3527	3615	3753
12	Вугілля			188	322	373	392	402	411
13	Сира нафта			1222	863	907	952	976	999
14	Нафтопродукти			100	221	233	245	251	307
15	Газ			1994	1758	1846	1938	1987	2035
16	Біомаса та відходи			0	0	0	0	0	0
17	Електроенергія			0	0	0	0	0	0
18	Експорт			606	336	343	372	382	392
19	Вугілля			147	110	107	113	116	118
20	Сира нафта			8	0	0	0	0	0
21	Нафтопродукти			316	170	179	200	205	209
22	Газ			88	0	0	0	0	0
23	Біомаса та відходи			14	22	21	22	23	26
24	Електроенергія			32	33	35	37	38	38
25	Зміна фондів			-102	374	135	-175	-194	-394
26	Вугілля			2	59	57	-49	-56	-58
27	Сира нафта			-23	35	35	0	-35	-35
28	Нафтопродукти			-11	2	-9	1	17	-24
29	Газ			-70	277	51	-125	-119	-277
30	Біомаса та відходи			0	2	1	-2	-2	0
31	Загальне первинне постачання енергії (TPES)			9618	8859	9985	10619	10403	10382
32	Вугілля			1337	1552	1927	1834	1463	1105
33	Сира нафта			1425	998	1126	1379	1430	1290
34	Нафтопродукти			457	676	766	768	771	883
35	Газ			2915	2478	2792	3060	3048	3254

Рис. 2. Звітний та прогнозний баланси України на 2005—2030 pp.

- оцінка оптимальної технологічної структури енергосистеми за критерієм мінімізації зведених витрат, тобто оцінка структури і рівня використання технологій виробництва і споживання енергії, що забезпечуватимуть найдешевший спосіб задоволення потреб споживачів;
- розрахунок альтернативних сценаріїв розвитку енергетичної системи, за допомогою яких можна оцінити вплив фіскальної політики, інфляції, ставки дисконтування та інших фінансових та макроекономічних показників;
- виявлення можливих загроз в енергозабезпеченні країни та визначення заходів для їх попередження [6];
- оцінка потенціалу заходів з енергозбереження та визначення пріоритетності їх впровадження в умовах обмежених можливостей державного фінансування;
- оцінка ринкового потенціалу нових видів енергії та палива (відновлюваних джерел енергії), обґрунтованості тарифів на їх використання, оптимальної стратегії для досягнення запланованого рівня їх виробництва і споживання;

- дослідження наслідків макроекономічного впливу на рівень попиту і структуру виробництва енергії і палива, структуру паливозабезпечення електростанцій, можливість забезпечення енергетичним сектором після кризового зростання економіки;
- дослідження впливу заходів енергетичної політики на поведінку споживачів;
- аналіз наслідків усунення цінового паритету між споживачами;
- оцінка реальних енергетичних потреб споживачів та межі заміщення різних видів палива для задоволення цих потреб;
- дослідження переваг та ризиків інтеграційних процесів та міжнародних зобов'язань в енергетичній сфері.

Висновки. Таким чином, ІАС «TIMES-Україна» є зручним потужним інструментом як для виконання задач із моделювання і прогнозування розвитку енергетики, енергетичного балансу, так і для аналізу альтернативних сценаріїв. Рівень деталізації самої моделі робить можливим використання ІАС «TIMES-Україна» як на мікрорівні, та і в масштабах всієї країни для дослідження впливу на енергетичну систему макроекономічних показників, таких як інфляція, доходи населення тощо.

Список використаних джерел:

1. Точилін В. О. Прикладна економіко-математична модель «TIMES-Україна» для оптимізації енергетичних потоків та прогнозування енергетичного балансу України. / В. О. Точилін, Р. З. Подолець, О. А. Дячук, Ю. А. Олександренко. — К. : Наука та інновації, 2010. — Т. 6. — № 2. С. 48—66.
2. Режим доступу : <http://www.kanors.com/VEDASupport/VedaFe.aspx/>.
3. Режим доступу : <http://www.kanors.com/VEDASupport/VedaBe.aspx/>.
4. Richard Loulou. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure [Електронний ресурс] / R. Loulou, M. Labriet // Energy Technology Systems Analysis Program. — 2007 — Режим доступу: <http://www.etsap.org/applicationGlobal.asp/>.
5. Режим доступу : <http://www.gams.com/>.
6. Подолець Р. З. Дослідження загроз енергозабезпечення економіки та оцінка заходів для їх попередження / Р. З. Подолець, О. А. Дячук // Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: праці 1-го науково-практичного семінару з міжнародною участю, 21—22 жовтня 2009 року. — К. : ПП Чабаненко Ю. А., 2009. — С. 378—385.

Designed information analysis system enables to perform quantitative and qualitative structured analysis of energy, material and financial flows in Ukrainian energy system, create forecasted and investigate reported energy balance, estimate alternative scenarios of energy sector development.

Key words: *Energy system of Ukraine, energy balance, model, information-analytical system «TIMES-Ukraine»*

Отримано 18.05.10