

## ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ MARKAL/TIMES МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Досліджено можливості використання економіко-математичних оптимізаційних MARKAL/TIMES моделей для моделювання, прогнозування та аналізу розвитку муніципальних, національних, регіональних і глобальних енергетичних систем. Показано, що провідні організації світу широко використовують такого типу моделі для науково-практичного обґрунтування та визначення головних стратегічних напрямів економічної, енергетичної та екологічної політик, спрямованих на забезпечення сталого енергетичного розвитку. Досліджено вагому роль практичного використання вітчизняної моделі «TIMES-Україна» при розв'язанні подібних задач, а також визначено перспективні напрями її використання з метою надання наукової та експертної підтримки процесу реформування державної економічної, енергетичної та екологічної політик.*

**Ключові слова:** моделювання, прогнозування, аналіз, енергетична система, MARKAL, TIMES, модель «TIMES-Україна».

Практичне значення використання економіко-математичного інструментарію для дослідження задач моделювання, прогнозування та аналізу розвитку економіки та окремих її секторів, особливо паливно-енергетичного комплексу, значної актуальності набуло після першої нафтової кризи (1973 р.), коли ОПЕК, до складу якої входили всі арабські країни-члени ОПЕК, а також Єгипет і Сирія, заявила, що вона не буде поставляти нафту країнам, що підтримали Ізраїль у конфлікті з Сирією та Єгиптом. Це стосувалось передусім США та їхніх союзників у Західній Європі. Упродовж наступного року ціна на нафту збільшилась із трьох до дванадцяти доларів за барель. Нафтова криза 1973 року була першою енергетичною кризою й донині вважається найбільшою. ОПЕК зменшила обсяги видобутку нафти не тільки для того, щоб вплинути на світові ціни на свою користь. Головне завдання цієї акції полягало у створенні політичного тиску на світову спільноту з метою зменшення підтримки Ізраїлю з боку західних країн.

Після таких подій у політиків, науковців, експертів постали питання щодо причин виникнення кризи, можливих її наслідків і заходів для попередження таких ситуацій у майбутньому.

Системні дослідження, що проводилися в енергетиці до кінця 60-х років минулого сторіччя, не могли здолати органічного протиріччя між науково обґрунтованим системним підходом та недосконалістю обчислювального апарату, що виконувався «ручним розрахунком». Таке протиріччя істотно звужувало можливості науково-практичних напрацювань, особливо це позначалося на вивченні ієрархічних властивостей енергетичної системи, особливостей транспортування енергоресурсів, дослідженнях при неповній початковій інформації в оптимізаційних задачах тощо. В області економіко-математичних досліджень за цей період були розроблені основні теоретичні положення та перші міжгалузеві баланси і моделі лінійного програмування.

Широке впровадження обчислювальних машин на початку 70-х років дозволило зосередити економіко-математичні дослідження вже на розробці оптимізаційних задач та їх практичному застосуванню до задач планування, в тому числі розвитку енергетики.

Це дозволило досягти значного прогресу у розробці економіко-математичних моделей великої розмірності і спеціалізованих систем моделювання.

Починаючи з 1985р. було запропоновано низку систем моделювання високого класу, найбільш відомими серед яких є MPL (мова математичного програмування), LINGO (мови моделювання та реалізації лінійного, нелінійного та цілочисельного програмування), AMPL (мова моделювання задач математичного програмування), GAMS (загальна система алгебраїчного моделювання). Ці системи були розроблені з метою компактного представлення великих і комплексних моделей мовами програмування високого рівня. Це дозволило відносно просто і безпечно робити зміни в описах моделі, записувати в простих формах оператори алгебраїчних зв'язків, виконувати опис моделі, що не залежить від алгоритмів розв'язання.

На базі таких систем почалося створення так званих генераторів моделей — програмних надбудов, призначених для розробки типових моделей одного класу зі стандартними властивостями параметрів, та додаткових системних (операційних) оболонок для управління ними. Необхідність у розробці останніх обумовлена зацікавленістю складним програмним продуктом дослідниками із прикладних галузей, які не володіли знаннями в області програмування.

Одним з найбільш відомих прикладів таких генераторів є генератор математичної оптимізаційної моделі MARKAL (MARKet ALlocation) [1]. Перша версія цього генератора була розроблена у 1983 році в межах Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) [1] на замовлення Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) спільно з Брукгавенською національною лабораторією (США) та Науковим центром Юліх (Німеччина). Побудована за допомогою генератора MARKAL, модель призначалася для визначення оптимальної, з економічної та екологічної точок зору, системи енергопостачання на національному, регіональному та локальному рівнях. Як база для цілої серії наступних модельних розробок, на сьогодні MARKAL є одним з найпоширеніших генераторів енергетичних моделей.

Перед тим, у 70-х роках ХХ століття, на замовлення

Європейської Комісії розроблялася квазідинамічна оптимізаційна модель енергетичних потоків *EFOM* (Energy Flow Optimisation Model) [2], яка інтенсивно використовується до сьогодні. Ця лінійна оптимізаційна модель описує енергетичні потоки від видобутку первинних видів енергії до постачання їх секторам кінцевого споживання, у тому вигляді, що їм необхідно. *EFOM* описує структуру енергетичної системи за допомогою орієнтованого графу (вузлів та орієнтованих зв'язків між ними). Зв'язки описують потоки енергії (матеріалів), вузли – умовні об'єкти, де енергетичні та матеріальні потоки зустрічаються та трансформуються. Дослідження з використанням *EFOM* проводилися у всіх країнах ЄС, а також у Росії, Мексиці, Китаї та інших країнах.

Результатом продовження досліджень у межах програми ETSAP стала розробка модельного генератора *TIMES* (The Integrated *MARKAL*-*EFOM* System) [1], за допомогою якого створювалися динамічні лінійні оптимізаційні моделі з цільовою функцією мінімізації зведених витрат енергосистеми при обмеженнях на річні або кумулятивні (наростаючим підсумком) викиди парникових газів. На той час, завдяки поєднанню *MARKAL* і *EFOM* моделей, значно розширились можливості проведення досліджень, що не могли бути зроблені окремо цими моделями. З 2000 року генератор *MARKAL* був оновлений і з того часу його та *TIMES* можна вважати рівноцінними генераторами математичних оптимізаційних моделей енергетичних систем, хоча *TIMES* має деякі переваги, оскільки нові його версії з розширеними можливостями дослідження випускаються майже кожного кварталу.

На сьогодні програма ETSAP функціонує як командний консорціум з більш як 70 країнами світу, які активно співпрацюють з метою створення, підтримки і розширення міжнародних можливостей з дослідження та аналізу енергетичних, економічних, технологічних питань, а також питань покращення довкілля. Національні команди працюють, як правило, з *MARKAL/TIMES* моделями, що дозволяє сумісно розробляти довгострокові сценарії розвитку енергетики та скорочення викидів парникових газів, а також проводити дослідження на локальному, національному, міждержавному, регіональному, глобальному рівнях з енергетичних та екологічних питань.

За статутом ETSAP збирається двічі на рік для обміну досвідом, обговорення шляхів поліпшення інструментів аналізу і спільної діяльності. Як правило, одна з цих зустрічей проходить сумісно з Міжнародним енергетичним семінаром (International Energy Workshop, IEW), що є неформальною мережею науковців, дослідження яких стосуються аналізу і моделювання розвитку світової енергетики. На зборах ETSAP також можуть брати участь групи дослідників з країн, що не входять до консорціуму. Це дає їм змогу переймати досвід, представляти і обговорювати свої результати в частині моделювання, прогнозування та оптимізації розвитку енергетичних систем. На сьогодні так діють представники України з ДУ «Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України» (ІЕП НАН України), які щорічно з 2009 року представляють на зборах ETSAP свої результати з розробки, вдосконалення і розширення моделі «*TIMES*-Україна» [3], а також результатів моделювання та прогнозування розвитку енергетичної системи України [4-7].

Метою статті є дослідження практичного

застосування моделей типу *MARKAL/TIMES*, зокрема, моделі «*TIMES*-Україна», що використовуються для науково-теоретичного обґрунтування та визначення головних стратегічних напрямів економічної, енергетичної та екологічної політик ефективного та низьковуглецевого розвитку муніципальних, національних, регіональних і глобальних енергетичних систем, а також оцінки соціально-економічних і кліматичних наслідків їх запровадження. Завданням статті є визначення перспективних напрямів використання цього типу моделей в Україні для розв'язання різного роду задач моделювання, прогнозування та аналізу шляхів розвитку енергетики країни.

*Європейська практика.* *MARKAL/TIMES* моделі розроблені та ефективно використані у великій кількості масштабних науково-обґрунтованих досліджень, серед яких:

- *Перспективи енергетичних технологій – сценарії та стратегії до 2050 р. (MEA)* [8]. Ця робота була проведена в межах досліджень MEA і репрезентує оновлені сценарії від сьогодні до 2050 року розвитку нових енергетичних технологій у найбільш важливих і ключових галузях різних регіонів світу. Робота дозволяє сфокусуватись на напрямках фінансування енергетики в досягненні енергетичних змін та підкреслює їх важливість; розглядає наслідки сценаріїв енергетичної безпеки і показує шляхи прискорення впровадження низьковуглецевих технологій, необхідних для вирішення проблем зміни клімату; надає дорожні карти і вказує на шляхи подолання наявних бар'єрів, що заважають інтенсивно впроваджувати екологічно чисті технології. У межах цієї роботи використовувалися *MARKAL/TIMES* моделі Китаю, ОЕСР, Європи, Сполучених Штатів та окремих країн.
- *«Біла книга»* (Державний департамент торгівлі і промисловості Великобританії) [9]. «Біла книга» є всеосяжним та інтегрованим пакетом заходів, який пропонує значне посилення безпеки постачання енергоресурсів у Великобританію, визначає амбітні цілі щодо скорочення викидів вуглецю, як у Великобританії, так і в усьому світі. При розробці цього документа використовувалась «*UK MARKAL-Masgo*» – модель, розроблена Центром енергетичних досліджень Великобританії.
- *Нові енергетичні екстерналії для сталого розвитку (NEEDS)* [10]. Метою проекту була оцінка витрат і вигод енергетичної політики, яку на той час проводив Європейський Союз, та перспектив розвитку енергетичних систем як індивідуально для країн ЄС і деяких інших країн Європи, так для всієї Європи загалом. У межах проекту була розроблена мульти-регіональна пан-європейська *TIMES* модель (PET модель) з детальним репрезентуванням енергетичних потоків між країнами та зовнішніми постачальниками або споживачами енергії.
- *«Моніторинг та оцінка реалізації Директив щодо відновлюваних джерел енергії в ЄС-27 до 2020 року та розробка рекомендацій» (RES2020)* [11]. Проект становив аналіз тодішньої ситуації в реалізації відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), визначення майбутніх варіантів політики та заходів, спрямованих на інтенсифікацію використання ВДЕ, визначення конкретних цілей із використання ВДЕ, а також вивчення наслідків після досягнення цих

- цілей в усій європейській економіці. У цьому проекті використовувалась PЕT модель, однак вона була вдосконала шляхом розробки нових прогнозів щодо попиту з боку країн, що моделювались; додано нові й більш детальні технології та процеси в попиті і пропозиції ВДЕ; більш детально репрезентовано технології виробництва електроенергії з ВДЕ та додані обмеження, пов'язані з наявністю ВДЕ в країнах.
- Дослідження, методологія і технології ефективного розвитку загальноєвропейської інфраструктурної мережі для сприяння досягненню надійного, конкурентоспроможного і сталого електропостачання (REALISEGRID) [12]. Проект складається з п'яти основних компонентів, одним з яких є розробка довгострокових сценаріїв для європейських енергосистем з використанням цілої низки TIMES моделей, зокрема пан-європейської TIMES моделі. Комплекс моделей дозволяє проводити аналіз сценаріїв розвитку енергетики ЄС, з урахуванням електричної та газової інфраструктур, а також проводити дослідження впливу різних політичних і соціально-економічних сценарних подій на електроенергетичні та газові потоки між європейськими країнами.
  - Ризики доступності енергії: основні коридори для безпечно постачання енергоресурсів у Європу (REACCESS) [13]. Основними цілями проекту, зокрема, були аналіз політики країн-членів ЄС і досягнення цільових показників щодо імпорту енергоносіїв; оцінка технічних, економічних і екологічних особливостей нинішнього і майбутніх енергетичних коридорів всередині Європи і між Європою та іншими регіонами світу; визначення для 27 членів ЄС основних енергетичних коридорів постачання первинних і вторинних енергоресурсів. Крім того, однією з цілей було введення енергетичних коридорів у пан-європейську TIMES модель і проведення за допомогою оновленої PЕT моделі аналізу сценаріїв, зокрема, щодо визначення енергетичних потреб, імпорту енергоресурсів, упровадження покращеної політики в галузі енергоефективності, впровадження джерел енергії і розвиток ВДЕ задля досягнення цільових екологічних показників ЄС в 2030-2050 рр. .
- Світова практика.* Окрім досліджень у ЄС, моделі, розроблені за допомогою MARKAL/TIMES генераторів, використовуються ще для багатьох задач, наприклад:
- Адміністрацією енергетичної інформації (АЕІ) США і МЕА сумісно використовують Систему аналізу глобальних енергетичних ринків (SAGE, версія MARKAL) для дослідження можливих варіантів розвитку енергоринків.
  - Європейська угода з розробок у галузі термоядерного синтезу (ЕFDA) використовує модель TIMES для оцінки потенціалу термоядерних станцій.
  - За допомогою інтегрованої моделі оцінки TIMES (TIAM), що є мульти-регіональною моделлю усього світу, ЕTSAP робить внесок у дослідження сценаріїв політики щодо зміни клімату і його стабілізації.
  - Інститут Пола Шеррера (Швейцарія) використовує глобальну модель MARKAL-Масго для вивчення питань поширення інновацій.
  - Функціонування системи дозволів на викиди і торгівля енергією між канадськими провінціями досліджується за допомогою мульти-регіональної MARKAL-моделі.
  - Оцінка можливостей досягнення цілей Акту по чистоту повітря у північно-східних штатах США базується на мульти-регіональній MARKAL-моделі.
  - Міжнародний проект із моделювання енергетичних систем скандинавських країн задля визначення спільних дій зі зниження викидів CO2 і розвитку транскордонної торгівлі енергією використовує MARKAL-модель цього регіону.
  - У проекті «Потенціал ринкового розвитку південно-східної Європи», що фінансується USAID (США), використовує MARKAL-моделі відповідних країн.
  - Вивчення потенційних взаємозв'язків деяких країн південно-східної Азії, за сприяння AUSAID, базуються на MARKAL-моделях.
  - Моделі TIMES 14 держав використовуються для визначення можливих варіантів постачання і взаємних енергетичних з'єднань у південноафриканському регіоні.
  - У Німеччині за допомогою TIMES моделі вивчаються питання розвитку електропостачальної промисловості і зниження викидів CO2.
  - Спільне впровадження заходів зі скорочення викидів CO2 між Швейцарією і Колумбією вивчається за допомогою TIMES моделі.
  - Проект «Ендогенне навчання технологічного кластерного прогресу» (єдиний Європейський регіон, модель MARKAL-Matter)
  - Європейський проект «Дематеріалізація: інжиніринг інтегрованих енергетичних і матеріальних систем для зменшення викидів парникових газів» використовує модель MARKAL-MATTER-EU.
  - Розробка стратегії скорочення викидів CO2 і роль атомної енергії в Японії. досліджується за допомогою MARKAL моделі.
  - У Бельгії для оцінки другорядних екологічних (SOx, NOx, VOC, PM) вигод від політики скорочення викидів парникових газів, а також аналізу наслідків відкриття ринків електроенергії використовуються MARKAL-моделі.
- Однією з найбільш відомих на сьогодні є глобальна модель TIAM-WORLD (The TIMES Integrated Assessment Model) [14], яка є мульти-регіональною моделлю з можливістю використання стохастичних параметрів і об'єднує 16 регіонів світу: AFR (Африка), AUS (Австралія, Нова Зеландія, Океанія), CAC (Центральна Азія і Кавказ), CAN (Канада), CHI (Китай), CSA (Центральна і Південна Америка), IND (Індія), JPN (Японія), MEA (Близький Схід), MEX (Мексика), ODA (Інші країни Азії), OEE (Інші країни східної Європи), RUS (Росія), SKO (Південна Корея), USA (США), EUR (27 країн Європейського Союзу + Ісландія, Норвегія і Швейцарія). У TIAM-WORLD існує можливість виділення окремої країни від її регіону і представлення її в якості окремого регіону.
- Модель TIAM-WORLD містить докладні описи більше тисячі технологій і ста товарів у кожному регіоні, які логічно взаємопов'язані в єдину енергетичну систему через ланцюг процесів з перетворення, транспортування, розподілу енергоресурсів і надання енергетичних послуг кінцевим споживачам. Наявний також кліматичний модуль, що дозволяє моделювати і розраховувати наслідки від зміни глобальної середньої температури, проводити аналіз міжнародної торгівлі енергоресурсами та квотами на викиди парникових газів.
- Серед локальних (муніципальних) моделей можна

виділити наступні:

- модель муніципальної системи управління відходами WAMM (Waste Management MARKAL Model) для міста Базилката (Південна Італія) [15];
- модель Torino-City типу MARKAL для розробки Майстер-плану енергозабезпечення міста Турин (Північна Італія) [16];
- MARKAL модель міста Гетеборг (Швеція), що використовувалась для розробки Енергетичного плану міста [16];
- MARKAL модель міста Мангейм (Німеччина), що використовувалась для розробки Плану енергозабезпечення міста [16];
- модель NYC MARKAL що використовувалась для розробки Плану розвитку міста Нью-Йорк (США) до 2030 року [17].

Моделі типу MARKAL/TIMES відповідають методичним рекомендаціям міжнародних організацій з розробки енергетичних та екологічних прогнозів, зокрема рекомендацій секретаріату Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату щодо розробки національних повідомлень.

*Модель «TIMES-Україна».* Модель «TIMES-Україна» [3], за нашої участі, була розроблена в межах науково-технічних проектів НАН України в 2006-2008 роках. Модель побудована з урахуванням чинних державних статистичних класифікаторів і базується на звітних формах державних статистичних спостережень з пографією деталізацією. Крім того, була використана статистична інформація міністерств та відомств, приватних енергетичних компаній, громадських організацій, а також МЕА, АЕІ США, British Petroleum та ін.

Україна в моделі представлена єдиним регіоном з міжнародною торгівлею енергоресурсами за всією номенклатурою енергоресурсів та деякими видами промислової продукції, яка розділена окремими процесами за регіонами — торгівля з країнами Європейського Союзу, Росією та іншими країнами світу. Базовим роком є 2005, проте основні показники щодо видобутку, перетворення і споживання енергоресурсів відкалібровані за 2006-2011 роками. Модель дозволяє ефективно вирішувати задачі аналізу, моделювання і прогнозування можливих шляхів розвитку енергетики України за великим спектром сценаріїв.

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. У моделі «TIMES-Україна» налічується близько 1600 технологій, більше 720 енергоресурсів, матеріалів, попитів тощо, майже 220 обмежень, що задають умови розрахунку математичної моделі. На сьогодні матриця ненульових значень у математичній моделі «TIMES-Україна», які є параметрами, містить від одного до п'яти з половиною мільйонів елементів, залежно від періоду та кроку прогнозування.

З 2009 року модель використовується в міжнародних проектах, завдяки чому відбулось удосконалення структури моделі і значно розширились можливості її практичного використання. У 2010-2011

роках [18-19] за підтримки НАН України, Кабінету Міністрів України та профільних міністерств і відомств в ІЕП НАН України були проведені науково-дослідні роботи щодо створення інформаційно-аналітичних засобів довгострокового прогнозування розвитку енергетики України і формування прогнозного енергетичного балансу на базі моделі «TIMES-Україна». Крім того, було розроблено проект національної системи стратегічного планування та управління в енергетиці України та низка організаційно-інституційних механізмів його запровадження та функціонування, у якій визначено місце інформаційно-аналітичних засобів моделювання, прогнозування та аналізу розвитку енергетики, зокрема моделі «TIMES-Україна».

Модель «TIMES-Україна» інтенсивно використовується при проведенні науково-дослідних робіт у межах комплексних програмах Національної академії наук України, зокрема у 2012 році:

1) у програмі «Об'єднання» з використанням моделі «TIMES-Україна» було оцінено вплив інтеграції енергосистем і ринків України та країн ЄС на галузеві зміни та вартісні показники електроенергії, досліджені та визначені напрями і механізми мінімізації собівартості та цін електроенергії на внутрішньому ринку в контексті європейської енергетичної інтеграції тощо [20].

2) у програмі «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій в галузях економіки» модель «TIMES-Україна» була удосконалена для довгострокового прогнозування комплексного розвитку електроенергетики України і отримані оцінки альтернативних шляхів розвитку електроенергетичного сектору України на період до 2050 року, зокрема за сценаріями інтенсивного та пасивного її розвитку ядерної енергетики. Крім того, сформовано перспективні баланси виробництва і споживання електричної енергії за різних умов та обмежень, а також проведена їх економічна та екологічна оцінка [21].

У цьому ж році в межах науково-дослідної роботи «Імплементация стратегічного планування в енергетиці в систему державного управління соціально-економічним розвитком», зокрема, удосконалено модель «TIMES-Україна» для прогнозування обсягів викидів парникових газів, завдяки чому проведені попередні оцінки заходів політики скорочення викидів парникових газів прямої дії на національному рівні до 2020 року та подальшу перспективу до 2050 року [22].

Модель «TIMES-Україна» використовується при підготовці інформаційно-аналітичних записок, які періодично надходять до міністерств та відомств, щодо прогнозу попиту на основні види енергоресурсів; коригування основних показників Енергетичної стратегії України на період до 2030 року; оцінки впливу тарифного регулювання ринків енергоресурсів на розвиток базових секторів економіки України; визначення оптимальних шляхів реалізації державної Програми економічних реформ на 2010-2014 роки в частині енергетичних питань; умов участі України у другому періоді дії Кіотського протоколу тощо.

У міжнародному співробітництві, модель «TIMES-Україна» використовувалась у міжнародних проектах, таких, як SYNENERGY Strategic Planning (SSP), що фінансувалися USAID (США) та Міністерством закордонних справ Греції (2009-2012 роки); проектах

Європейського Союзу з підтримки вугільного сектору України (2009-2011 роки) та бюджетної підтримки впровадження Енергетичної стратегії України. З 2012 року розпочаті міжнародні дослідження щодо розробки мульти-регіональної моделі семи країн Енергетичного співтовариства, в тому числі України.

Основними напрямками досліджень у зазначених міжнародних проектах є: підвищення енергетичної безпеки України; диверсифікація джерел постачання енергоресурсів; інтенсивне використання відновлюваних джерел енергії; підвищення енергоефективності та енергозбереження; використання власних енергоресурсів, таких, як вугілля і сланцевий газ; скорочення викидів парникових газів; розширення міждержавної торгівлі енергоресурсами тощо.

Подальше використання моделі «TIMES-Україна» з її удосконаленням передбачається здійснювати з метою:

- науково-теоретичного обґрунтування та визначення головних стратегічних напрямів і завдань держави щодо оптимізації енергетичного балансу із забезпеченням екологічної та енергетичної безпеки і соціально-економічного розвитку суспільства. Для цього необхідно системно отримати енерго-еколого-економічні оцінки впровадження нових передових технологій «дружніх» до довкілля і здоров'я людей, у першу чергу вітчизняного виробництва, а також використання традиційних і альтернативних джерел;
- розробки модельних комплексів, що відіграватимуть роль системи підтримки прийняття рішень при розробці Національної стратегії сталого розвитку і Національного плану дій щодо її виконання;
- оцінки економічної доцільності розвитку інноваційного розвитку атомної енергетики України на основі впровадження реакторів нових поколінь та створення замкнутого ядерно-паливного циклу;
- дослідження шляхів виконання Україною зобов'язань перед європейським Енергетичним співтовариством.

Крім того, використовуючи досвід розробки моделі «TIMES-Україна», а також зарубіжний досвід, передбачається розробка пілотної муніципальної моделі для окремого міста з метою підтримки процесу виконання муніципалітетами Угоди мерів [23], зокрема

в частині впровадження Плану дій для сталого енергетичного розвитку міста. На жаль, на сьогодні не існує ефективних модельних засобів моделювання, прогнозування та аналізу розвитку енергетичних муніципальних систем, які б дозволяли обирати оптимальні шляхи їх модернізації та удосконалення, незважаючи на те, що муніципальна енергетика є надзвичайно важливим елементом енергетичного комплексу України і суттєво впливає на розвиток соціально-економічних взаємовідносин у регіонах і країні, надаючи населенню, підприємствам та організаціям муніципалітетів необхідні енергетичні послуги.

Неперервний розвиток енергетичних систем світу загалом і окремих країн чи їх об'єднань зокрема, а також поява нових ендегенних та екзогенних загроз вимагає постійного удосконалення прикладних засобів для їх дослідження, оцінки різних сценаріїв розвитку енергетики, відшукування оптимальних шляхів виправлення або вдосконалення наявної ситуації із забезпеченням екологічної та енергетичної безпеки і соціально-економічного розвитку суспільства.

Постійне удосконалення MARKAL/TIMES моделей дає можливість вчасно відшукати відповіді на зазначені питання, однак, звичайно, якість таких відповідей залежить від кваліфікації дослідників.

Модель «TIMES-Україна» є визнаним в Україні та світі інформаційно-аналітичним інструментом, який ІЕП НАН України намагається постійно використовувати при наданні наукової та експертної підтримки процесу реформування державної економічної, енергетичної та екологічної політик.

Основними перевагами практичного використання моделі «TIMES-Україна» є можливість детально представляти інформацію про технології споживання та використання енергетичних ресурсів; прогнозувати і оцінювати викиди парникових газів та забруднюючих речовин; проводити аналіз чутливості здійснення заходів енергетичної та екологічної політики; проводити аналіз та оцінку не тільки технологій споживання чи використання енергетичних ресурсів, але й цілого набору окремих або комбінованих сценаріїв енергетичної, екологічної, економічної політик, проводити аналіз їх чутливості, наприклад, уведення податку або обмежень на викиди вуглецю, встановлення загальних національних цілей щодо скорочення викидів або споживання енергоресурсів, запровадження «зеленого» тарифу тощо.

## Список літератури

1. *Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP (Програми системного аналізу енергетичних технологій)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.etsap.org/index.asp>.
2. *Grohnheit? P. E. Economic interpretation of the EFOM model / P. E. Grohnheit // Energy Economics. — Volume 13, Issue 2, April 1991, Pages 143-152.*
3. *Подолець, Р. З. Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі на базі моделі "TIMES-Україна": наук. доп. НАН України; Ін-т екон. та прогноз. / Р. З. Подолець, О. А. Дячук. – К., 2011. — 150 с.*
4. *Podolets, R. Practical validity of input parameters in the case of TIMES-Ukraine model [Електронний ресурс] / R. Podolets, O. Diachuk, Y. Oleksandrenko // International Energy Workshop – 2009 / Фонд Джорджіо Ціні, острів св. Джорджія Маггіоре, Венеція, Італія, 17-19 червня 2009 р. Режим доступу: [http://www.iccgov.org/iew2009/speakersdocs/presentazioni/19\\_06\\_2009/Parallel7/Roman%20PODOLETS.pdf](http://www.iccgov.org/iew2009/speakersdocs/presentazioni/19_06_2009/Parallel7/Roman%20PODOLETS.pdf).*
5. *Podolets, R. Dual problem of the coal sector development: Case study with TIMES-Ukraine Model [Електронний ресурс] / R. Podolets, O. Diachuk // International Energy Workshop – 2010 / Королівський технологічний університет, Стокгольм, Швеція, 21-24 червня 2010 р. Режим доступу: <http://www.iea-etsap.org/web/index.asp>.*
6. *Podolets, R. Achieving EU targets on renewable energy: strategy for Ukraine [Електронний ресурс] / R. Podolets, O. Diachuk, G. Trypolska // Щорічні збори за програмою системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) / Університетський коледж м. Корк, Ірландія, 16-17 листопада 2010 р. Режим доступу: <http://www.iea-etsap.org/web/index.asp>.*
7. *Ukrainian Emission Targets for the Post-Kyoto Period [Електронний ресурс] / R. Podolets, O. Diachuk, U. Pysmenna, G. Trypolska // Щорічні збори за програмою системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) / Стенфордський університет, м. Стенфорд, США, 9 липня 2011. – Режим доступу: <http://www.iea-etsap.org/web/index.asp>.*

8. *IEA Energy Technology Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050 (Перспективи енергетичних технологій – Сценарії та стратегії до 2050 р. )* [Електронний ресурс] / Міжнародне енергетичне агентство, 2010. — Режим доступу: <http://www.iea.org/techno/etp/index.asp>
9. *The White Paper ("Біла книга")* [Електронний ресурс] / Державний департамент торгівлі і промисловості Великобританії, 2007. — Режим доступу: [http://www.ukerc.ac.uk/support/tiki-download\\_file.php?fileId=237&highlight=White%20Paper](http://www.ukerc.ac.uk/support/tiki-download_file.php?fileId=237&highlight=White%20Paper).
10. *New Energy Externalities Developments for Sustainability (Нові енергетичні екстерналії для сталого розвитку)* [Електронний ресурс] / Шоста рамкова програма Європейської комісії, 2008. — Режим доступу: <http://www.needs-project.org/>.
11. *Monitoring and Evaluation of the RES directives implementation in EU27 and policy recommendations for 2020 (Моніторинг та оцінка реалізації Директив щодо відновлювальних джерел енергії в ЄС-27 до 2020 року та розробка рекомендацій)* [Електронний ресурс] / Шоста рамкова програма Європейської комісії. — Режим доступу: <http://www.ecn.nl/nl/units/ps/themas/hernieuwbare-energie/projecten/res2020/>
12. *Research, methodologies and technologies for the effective development of pan-European key grid infrastructures to support the achievement of a reliable, competitive and sustainable electricity supply (Дослідження, методологія і технології ефективного розвитку загальноєвропейської інфраструктурної мережі для сприяння досягненню надійного, конкурентоспроможного і сталого електропостачання)* [Електронний ресурс] / Сьома рамкова програма Європейської комісії. — Режим доступу: <http://realisegr.id.rse-web.it/default.asp>
13. *Risk of Energy Availability: Common Corridors for Europe Supply Security (Ризики доступності енергії: основні коридори для безпечного постачання енергоресурсів в Європу)* [Електронний ресурс] / Сьома рамкова програма Європейської комісії. — Режим доступу: <http://reaccess.epu.ntua.gr/TheProject/ProjectObjectives.aspx>
14. *TIMES Integrated Assessment Model (Інтегрована модель оцінки TIMES)* [Електронний ресурс] / KanORS. — Режим доступу: <http://www.kanors.com/DCM/Tiam/Docs/Index.aspx>
15. *Salviaa, M. Mangiamaleb Waste management system optimisation for Southern Italy with MARKAL model / M. Salviaa, C. Cosmia, M. Macchiato* // *Resources, Conservation and Recycling. — Volume 34, Issue 2, January 2002, Pages 91-106.*
16. *Advanced Local Energy Planning (Удосконалене локальне енергетичне планування)* [Електронний ресурс] / Міжнародне енергетичне агентство, Париж. — Режим доступу: <http://www.iea-aler.pz.cnr.it/>.
17. *Municipal Scale Integrated Energy System Models (Муніципальні інтегральні моделі енергетичної системи)* [Електронний ресурс] / Агентство охорони навколишнього середовища США. — Режим доступу: <http://www.sandia.gov/energy-water/EastPresentations/MunicipalScaleInteg.pdf>.
18. *Державна установа "Інститут економіки та прогнозування НАН України". Звіт з науково-дослідної роботи "Створення інформаційно-аналітичної підсистеми стратегічного планування для формування прогнозного енергетичного балансу". — № держреєстрації 0110U005466. — К., 2010. — 457 с.*
19. *Державна установа "Інститут економіки та прогнозування НАН України". Звіт з науково-дослідної роботи "Створення інформаційно-аналітичної підсистеми стратегічного планування для формування прогнозного енергетичного балансу: організаційно-економічні механізми впровадження та функціонування". — № держреєстрації 0111U005614. — К., 2011. — 440 с.*
20. *Державна установа "Інститут економіки та прогнозування НАН України". Звіт з науково-дослідної роботи "Оцінка економічних наслідків та розробка економіко-правових механізмів (рекомендацій) щодо інтеграції ринків електроенергії України та країн ЄС". — № держреєстрації 0110U005467. — К., 2012. — 133 с.*
21. *Державна установа "Інститут економіки та прогнозування НАН України". Звіт з науково-дослідної роботи "Розробка основних засад виведення ядерних блоків із експлуатації (етап II)". — № держреєстрації 0112U005630. — К., 2012. — 141 с.*
22. *Державна установа "Інститут економіки та прогнозування НАН України". Звіт з науково-дослідної роботи "Імплементція стратегічного планування в енергетиці в систему державного управління соціально-економічним розвитком". — № держреєстрації 0112U004433. — К., 2012. — 208 с.*
23. *Угода мерів за сталий розвиток на місцевому рівні* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.enefcities.org.ua/CoM\\_ukr.pdf](http://www.enefcities.org.ua/CoM_ukr.pdf).

## РЕЗЮМЕ

**Дячук Александр**

### **Практическое использование MARKAL / TIMES моделей для моделирования, прогнозирования и анализа развития энергетических систем**

Исследованы возможности использования экономико-математических оптимизационных MARKAL / TIMES моделей для моделирования, прогнозирования и анализа развития муниципальных, национальных, региональных и глобальных энергетических систем. Показано, что ведущие организации мира широко используют такого типа модели для научно-практического обоснования и определения главных стратегических направлений экономической, энергетической и экологической политик, направленных на обеспечение устойчивого энергетического развития. Исследована важная роль практического использования отечественной модели «TIMES-Украина» при решении подобных задач, а также определены перспективные направления ее использования с целью предоставления научной и экспертной поддержки процесса реформирования государственной экономической, энергетической и экологической политик.

## RESUME

**Diachuk Oleksandr**

### **Practical use of MARKAL / TIMES models for modeling, forecasting and analysis of energy systems development**

There has been investigated the possibility of usage of economy-mathematical optimization MARKAL / TIMES models for modeling, forecasting and analysis of municipal, national, regional and global energy systems development. There has been shown that world leading organizations are using of this type of models for scientific and practical underpinning, and identified the key strategic areas of economic, energy and environmental policies for sustainable energy development. In the article there has been investigated the important role of practical use of "TIMES-Ukraine" model for the similar problems and defined the perspectives of usage of "TIMES-Ukraine" model for scientific and expert support process reforms of economic, energy and environmental policies in Ukraine.

**Стаття надійшла до редакції 08.02.2013 р.**