

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

УДК 620.9

Д.П. САС,
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ДЕТЕРМІНОВАНО-СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЕНЕРГОРЕСУРСАХ ДОРОЖНЬОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ ТА РІВНІВ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В АТМОСФЕРУ

В даній статті описана розроблена автором імітаційна модель, призначена для прогнозування потреби в енергоресурсах дорожнього транспорту України та рівнів викидів парникових газів. Наведено та проаналізовано результати розрахунків з використанням даної моделі за сценарієм збереження попиту на традиційні види енергоресурсів.

Ключові слова: дорожній транспорт, імітаційна модель, прогнозування, паливо.

Сектор дорожнього транспорту – одна з найбільш важливих галузей національної економіки України. Він забезпечує потреби матеріального виробництва, невиробничої сфери, а також населення в транспортних послугах. Цей сектор є найбільшим споживачем моторного палива в Україні. За даними форми 4-ТЗ державної статистичної звітності за 2010 рік в Україні налічується 9451125 транспортних засобів. За останні десять років споживання бензину в Україні зросло з 3,2 млн т у 2001 р. до 4,6 млн т в 2010 р., дизельного палива – з 4,7 млн т до 5,3 млн т відповідно. Враховуючи світові тенденції до постійного зростання ціни на продукти нафтопереробки і газ, який набуває все більшої популярності в якості палива для дорожнього транспорту, питання прогнозування потреби у енергоресурсах (ЕР) цього сектору є дуже актуальною проблемою. Окрім цього, не можна залишати поза увагою появу і можливе поширення нових технологій у транспортному секторі, наприклад, гібридних автомобілів, електромобілів, транспортних засобів (ТЗ) на паливних елементах, навіть враховуючи те, що в Україні на даний час ці технології не використовуються, або майже не використовуються.

© Д.П. САС, 2012

Крім того, сектор дорожнього транспорту характеризується високим обсягом викидів парникових газів (ПГ) в атмосферу. Наприклад, у 2009 році викиди ПГ в категорії «дорожній транспорт» склали 39,3 млн т CO₂-екв., що становило 72 % від сектору «Транспорт» або близько 19 % від загальних викидів у категорії «Спалювання палива» [1]. Враховуючи міжнародні зобов'язання України у сфері обмеження викидів ПГ та необхідність зниження негативного впливу на довкілля, прогнозування структури потреби у ПЕР дорожнього транспорту актуальне і важливе і в екологічному аспекті.

На сьогоднішній день в Україні немає інструменту, за допомогою якого можна ефективно вирішити питання прогнозування потреби дорожнього транспорту в енергоресурсах. У всіх системах прогнозування розвитку енергетики, що використовуються за кордоном (LEAP, POLES, WEM, NEMS, MEDEE, MARKAL та ін.), є транспортний модуль. Але ці системи прогнозування розроблені для окремих країн або їхніх груп з урахуванням національних особливостей. Адаптування цих моделей до умов України частіше за все важко або взагалі неможливо. Це зумовлює необхідність розробки власного апарату для отримання прогнозів потреби транспорту в енергоресурсах.

Для сектору дорожнього транспорту доцільно застосовувати саме імітаційне моделювання, оскільки:

- сектор дорожнього транспорту – це система з великою кількістю внутрішніх зв'язків;
- на цей сектор впливає значна кількість зовнішніх факторів – цінова політика, галузева та зовнішня політика, економічний стан населення тощо;
- неможливість отримання вичерпної інформації щодо функціонування сектору дорожнього транспорту пов'язана зі складністю цієї системи та особливостями національної статистичної звітності.

З метою отримання коректних прогнозів потреби дорожнього транспорту в енергоресурсах, прогнозів викидів ПГ в атмосферу та дослідження впливу на потребу в енергоресурсах можливого проникнення новітніх технологій у транспортний сектор автором була розроблена імітаційна модель.

Усі транспортні засоби, що розглядаються в моделі, поділені на категорії. Цей розподіл базується на методиці проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин Європейської програми з моніторингу й оцінки та Європейського агентства з питань навколишнього середовища 2009 р. [2] і має такий вигляд:

- пасажирські легкові автомобілі з традиційним двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) об'ємом менше 1,4 л;
- пасажирські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ об'ємом 1,4 – 2 л;
- пасажирські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ об'ємом більше 2 л;
- пасажирські легкові автомобілі з гібридним двигуном;
- пасажирські легкові автомобілі на паливних елементах;
- пасажирські легкові автомобілі на акумуляторних батареях;
- комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ об'ємом менше 1,4 л;
- комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ об'ємом 1,4 – 2 л;
- комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ об'ємом більше 2 л;
- комерційні легкові автомобілі з гібридним двигуном;
- комерційні легкові автомобілі на паливних елементах;

– комерційні легкові автомобілі на акумуляторних батареях;

- легкі вантажні автомобілі вагою 3,5 т;
- важкі вантажні автомобілі вагою 7,5 т;
- важкі вантажні автомобілі вагою 7,5–16 т;
- важкі вантажні автомобілі вагою 16–32 т;
- важкі вантажні автомобілі вагою 32 т;
- автобуси міські вагою 5 т;
- автобуси вагою 5 т.

В моделі розглядається множина J палив, до якої включено: електроенергію, дизельне паливо, зріджений нафтовий газ (ЗНГ), стиснений природний газ (СПГ), водень, біопаливо, спирти та бензин.

На кожен етап задається загальна кількість ТЗ категорії $i, i \in 1, I$ та діапазон відсотків ТЗ, що використовують вид палива $j, j \in 1, J$.

Вхідними даними моделі також є витрати палива категоріями ТЗ, які в моделі задаються у розмірності т палива/рік, та середній річний пробіг кожної категорії ТЗ.

Кількість ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап $k - N_{ijk}$ визначається випадковим чином з $J - 1$ діапазонів в межах $[a_{ijk}^0; a_{ijk}^1]$. В ролі замикаючої категорії, тобто тієї, яка забезпечує відповідність загальної кількості ТЗ виконаному розподілу, виступають ТЗ, що споживають бензин або дизельне паливо в залежності від категорії засобів. Тому в якості $j = J$ вида палива приймається бензин або дизельне паливо в залежності від категорії ТЗ.

Діапазони відсотків ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап $k - [a_{ijk}^0; a_{ijk}^1]$, визначаються на основі експертних оцінок при розробці перспективного сценарію розвитку сектору автомобільного транспорту.

Кількість ТЗ i -ї категорії, що споживають замикаючий J -й вид палива (тобто бензин або дизельне паливо) у етап k визначається за формулою

$$N_{ijk} = N_{ik} - \sum_{j=1}^{J-1} N_{ijk}, \quad (1)$$

де N_{ik} – загальна кількість транспортних засобів i -ї категорії у етап k , одиниць.

Потреба ТЗ i -ї категорії у j -му паливі у етап k визначається згідно з виразом

$$P_{ijk} = N_{ijk} \rho_{ijk}, \quad (2)$$

де ρ_{ijk} – річне споживання j -го виду палива одним ТЗ i -ї категорії у етап k , т.

У розробленій моделі річне споживання j -го виду палива одним ТЗ i -ї категорії є вхідним параметром, який попередньо визначається за формулою

$$\rho_{ijk} = L_{ijk} \alpha_{ijk} K_{aijk} / 1000, \quad (3)$$

де L_{ijk} – середньорічний пробіг одного ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап k , км;

α_{ijk} – середня витрата палива одним ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап k , г/км;

$K_{\alpha_{ijk}}$ – поправочний коефіцієнт для витрат палива ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап k . Цей коефіцієнт призначений для відображення можливих коливань витрат палива ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива в межах етапу k .

Параметри α_{ijk} та L_{ijk} визначаються на основі порівняльного аналізу результатів наукових досліджень, присвячених поточному стану та науково-технічному прогресу на автомобільному транспорті. При виконанні розрахунків значення цих змінних приймалися у відповідності до Європейської програми з моніторингу і оцінки та даних Європейського агентства з питань навколишнього середовища за 2009 р. [2].

Загальна потреба у j -му виді палива всіх категорій транспортних засобів в етап k визначається згідно з виразом

$$P_{jk} = \sum_{i=1}^n N_{ijk} \rho_{ijk}, \quad (4)$$

Викиди парникових газів на етап k обчислюються згідно з формулою

$$E_k = \sum_{j=1}^n P_{jk} EF_{jl}, \quad (5)$$

де E_k – викиди парникових газів від сектору дорожнього транспорту на етап k , кгСО₂-екв.;

EF_{jl} – коефіцієнт викидів l -го газу від j -го палива, кгСО₂-екв./тонн j -го палива.

У розрахунках використовуються коефіцієнти викидів з методики проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин згідно Європейської програми з моніторингу й оцінки та за даними Європейського агентства з питань навколишнього середовища [2].

Для визначення потреби дорожнього транспорту України у паливі запропоновано такий

алгоритм.

1. На першому етапі у кожній категорії ТЗ випадковим чином визначається відсоток ТЗ, що споживають окремих вид палива.

2. На основі відсотків, визначених на першому етапі, розраховується потреба в окремому паливі за категоріями ТЗ і в цілому по паливу.

3. Проводиться закладена у розрахунок кількість експериментів. За стохастичним підходом, що використовується в розробленій імітаційній моделі, взаємозв'язок між показниками, що досліджуються, та результируючими показниками найкраще виявляється, якщо в межах дослідження проводиться велика кількість експериментів. Для отримання коректного результату, кількість експериментів повинна бути не менше 15 тисяч. Чим вища кількість експериментів, тим точніший результат буде отримано.

4. Після статистичної обробки даних отримуємо найбільш імовірні значення потреби у паливі за видами у кожній категорії.

5. Отримані значення використовуються для розрахунку загальної потреби в енергоресурсах сектору дорожнього транспорту України та рівнів викидів забруднювачів та парникових газів у атмосферне повітря.

Наведений алгоритм реалізований на об'єктно-орієнтованій процедурній мові програмування систем управління реляційними базами даних Visual Fox Pro. Передбачено можливість зберігання та відтворення виконаних розрахунків.

Інтерфейс розробленої моделі наведено на рис. 1.

Був проведений розрахунок для сценарію помірної зростання автопарку зі збереженням попиту на продукти нафтопереробки та мінімальним проникненням нових технологій у транспортний сектор. Основні вхідні параметри, такі як приріст ТЗ за основними групами і діапазони відсотків ТЗ в категорії, що споживають окремих вид палива, закладені у розрахунок, наведені в табл. 1 і 2 нижче. Головними рисами даного сценарію є зростання кількості ТЗ, що використовують дизельне паливо, поступове зростання автопарку легкових та вантажних автомобілів та зниження кількості автобусів. При проведенні розрахунків було здійснено 40000 експериментів.



Рис. 1. Загальний інтерфейс програмного комплексу моделі

Таблиця 1 – Приріст ТЗ за основними групами, %/рік

Категорія ТЗ	Етап			
	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ < 1.4 л	+2,5	+3	+3,5	+4
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ 1.4 – 2 л	+2,5 %	+3	+3,5	+4
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ > 2 л	+2,5	+3	+3,5	+4
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ < 1.4 л	+2,5	+3	+3,5	+4
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ 1.4 – 2 л	+2,5	+3	+3,5	+4
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ > 2 л	+2,5	+3	+3,5	+4
Легкі вантажні автомобілі < 3,5 т	+2,5	+2,5	+2,5	+3
Важкі вантажні автомобілі < 7.5 т	+2,5	+2,5	+2,5	+3
Важкі вантажні автомобілі 7.5-16 т	+2,5	+2,5	+2,5	+3
Важкі вантажні автомобілі 16–32 т	+2,5	+2,5	+2,5	+3
Важкі вантажні автомобілі 32 т	+2,5	+2,5	+2,5	+3
Автобуси міські до 5 т	+1	- 0,5	- 1,5	- 2,5
Автобуси > 5 т	+1	- 0,5	- 1,5	- 2,5

Таблиця 2 – Діапазони відсотків ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап k за основними групами ТЗ, %

Категорія ТЗ	Етап			
	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ < 1.4 л:				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	1-5	2-6	2-7	2-8
СПГ	1-2	1-3	1-4	1-5
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ 1.4 – 2 л:				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	1-4	1-5	2-6	2-7
СПГ	1-2	1-3	1-4	2-5
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Пасажи́рські легкові автомобілі з традиційним ДВЗ > 2 л:				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	1-5	2-6	2-7	3-7
СПГ	1-3	1-3	2-5	2-6
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ < 1.4 л				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	1-5	2-6	2-8	2-10
СПГ	1-3	1-5	1-6	1-8
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ 1.4 – 2 л				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	2-6	2-7	3-8	3-10
СПГ	1-4	1-5	2-6	2-9
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Комерційні легкові автомобілі з традиційним ДВЗ > 2 л				
Бензин	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
ЗНГ	2-6	2-7	3-8	3-10
СПГ	1-4	1-5	2-6	3-9
ДП	15-20	25-30	35-40	45-60
Легкі вантажні автомобілі < 3,5 т				
Бензин	20-25	18-22	15-20	10-15
ДП	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Важкі вантажні автомобілі < 7.5 т				
Бензин	5-10	6-8	4-7	2-5
ДП	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Важкі вантажні автомобілі 7.5–16 т				
Бензин	5-10	6-8	4-7	2-5

Таблиця 2 (продовження) – Діапазони відсотків ТЗ i -ї категорії, що споживають j -й вид палива у етап k за основними групами ТЗ, %

Категорія ТЗ	Етап			
	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
ДП	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Важкі вантажні автомобілі 16–32 т				
Бензин	5-10	6-8	4-7	2-5
ДП	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Важкі вантажні автомобілі 32 т				
Бензин	5-10	6-8	4-7	2-5
ДП	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Автобуси міські до 5 т				
Бензин	20-25	14-20	12-18	10-15
СПГ	4-8	6-12	8-14	16-20
ДТ	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.
Автобуси > 5 т				
Бензин	20-25	14-20	12-18	10-15
СПГ	4-8	6-12	8-14	16-20
ДТ	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.	замик.кат.

Після проведення заданої кількості експериментів, у моделі виконується розрахунок статистики за окремими видами палива, і будуватиметься розподіл отриманих значень. В даному

випадку, за усіма видами палива було отриманий розподіл, близький до нормального. Розподіл результатів розрахунку статистики за бензином наведений на рис. 2.

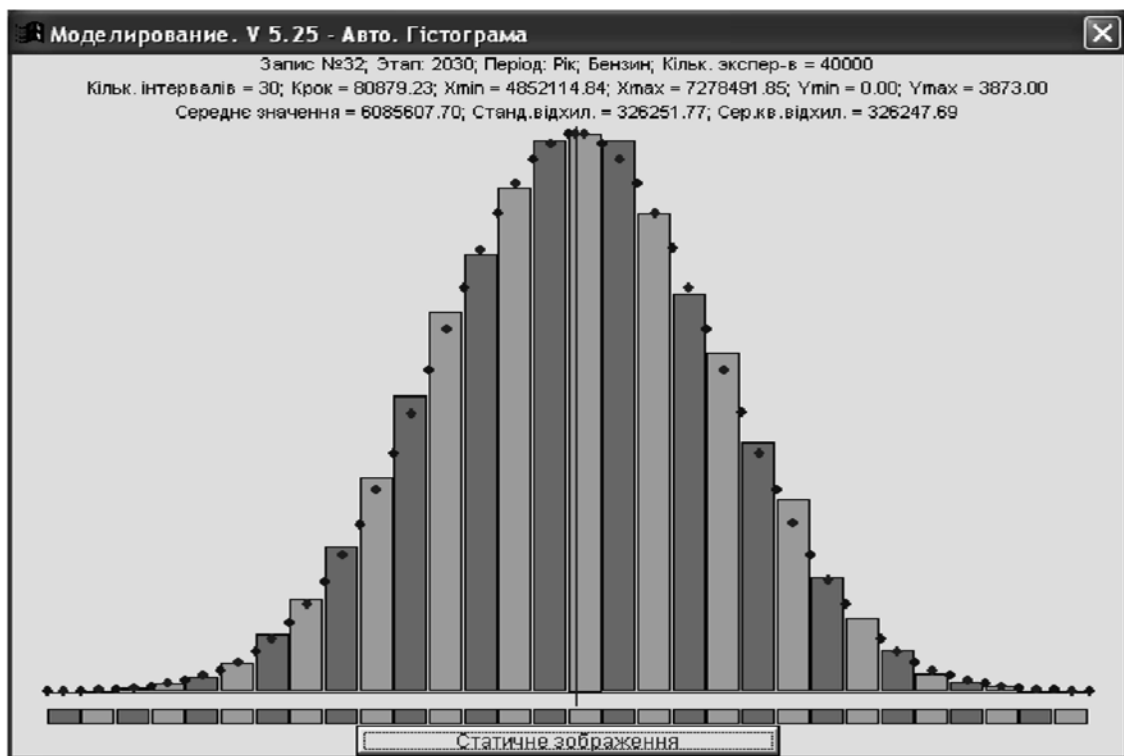


Рис. 2. Розподіл результатів розрахунку статистики за бензином на 2030 р.

Таблиця 3 – Результати розрахунку потреби у паливі, млн т

Паливо	Етап			
	2015	2020	2025	2030
Бензин	4,92	5,39	5,72	6,09
Дизельне паливо	6,34	7,71	9,82	12,27
ЗНГ	0,33	0,40	0,49	0,61
СПГ	0,4	0,51	0,65	0,82

Результати розрахунків, проведені за описаним сценарієм і наведені в табл. 3, показують, що на 2030 р. загальна потреба у бензині для дорожнього транспорту складатиме 6,09 млн т, а потреба у дизельному паливі 12,27 млн т.

Результати розрахунку викидів ПГ внаслідок споживання палива дорожнім транспортом показані в табл. 4.

Таблиця 4 – Викиди ПГ за даним сценарієм розвитку дорожнього транспорту, млн т CO₂-екв.

Етап	2015	2020	2025	2030
Викиди ПГ	37,65	43,96	52,29	61,99

Отримані значення узгоджуються з оптимістичним сценарієм проекту оновленої Енергетичної Стратегії України на період до 2030 р., за яким попит на дизельне паливо на 2030 р. має знаходитись на рівні 12 млн т, а на бензин до 7,3 млн т [3]. Відмінності у попиті на бензин зумовлені тим фактом, що за проектом оновленої Стратегії закладаються більш високі показники перспективного зростання кількості легкових автомобілів в Україні (більш ніж вдвічі, від 150 до 380 легкових автомобілів на 1000 чоловік населення, при середньорічному зростанні ВВП у розмірі 6,1%), а також темпи зменшення витрат палива ТЗ в межах 15–25%. Однак, на погляд автора, на даний момент немає обґрунтованих передумов для такого стрімкого зростання автопарку ТЗ, враховуючи кризові явища і нестабільність світової економіки, що зумовили той факт, що після 2008 р. вже не спостерігається тенденція до швидкого зростання парку ТЗ в Україні. Крім того, скорочення витрати палива на чверть, радше нагадує декларативну ціль, аніж реально досяжну можливість.

В подальших дослідженнях планується виконати розрахунки для декількох сценаріїв

розвитку сектору дорожнього транспорту з різним темпом проникнення новітніх технологій у цей сектор, і провести аналіз того, яким чином поширення новітніх технологій вплине на потребу України в енергоресурсах і на рівень викидів ПГ в атмосферу.

Висновки

1. Автором була розроблена імітаційна модель для прогнозування потреби дорожнього транспорту в енергоресурсах, прогнозів викидів ПГ в атмосферу та дослідження впливу на потребу в енергоресурсах можливого проникнення новітніх технологій у транспортний сектор.

2. Коректність моделі засвідчує проведений розрахунок для сценарію помірнього зростання автопарку зі збереженням попиту на продукти нафтопереробки та мінімальним проникненням нових технологій у транспортний сектор, результати якого узгоджуються з проектом оновленої Енергетичної Стратегії України на період до 2030 р.

1. *Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2009 гг.*

2. *The EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook//EEA (European Environment Agency)/ – 2009. – Р.136. – Режим доступу до документу: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.*

3. *Оновлення Енергетичної стратегії України до 2030 р.//Проект документа для громадських обговорень. – 2012. – С.156. – Режим доступу до документа: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/doccatalog/document?id=222032>.*

Надійшла до редколегії: 18.10.2012 р.