

Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 № 975) [www. economy.nayka.com.ua](http://www.economy.nayka.com.ua) | № 10, 2020 | 29.10.2020 р.

DOI: [10.32702/2307-2105-2020.10.55](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.10.55)

УДК: 620.9-047.58:338.432

*І. В. Гончарук,
к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID ID: 0000-0002-1599-5720*

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

*I. Honcharuk
PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics,
Vinnytsia National Agrarian University*

MODELING AND FORECASTING THE LEVEL OF ENERGY INDEPENDENCE OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF UKRAINE ON THE BASIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

У статті агропромисловий комплекс розглядається, як одна з бюджето- та експортотформуючих галузей економіки країни, яка відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки. Проаналізовано, що у структурі енергоспоживання агропромислового комплексу України майже повністю займають традиційні види енергії такі, як нафтопродукти, природний газ, вугілля та інші джерела, якими економіка країни, більше ніж на 50 % забезпечуються імпортними закупівлями. Така ситуація призводить до залежності від постачання енергетичних ресурсів із інших країн.

Досліджено питання забезпечення енергетичної незалежності аграрного сектору України на засадах сталого розвитку та розроблено економіко-математичну модель оцінювання та прогнозування її рівня на основі теорії нечіткої логіки. Визначено фактори впливу на рівень енергетичної незалежності АПК України, які згруповані у дві групи: фактори виробництва первинної енергії в Україні (вугілля й торф; сира нафта; природний газ; атомна енергія; гідроенергетика; вітрова, сонячна енергія та ін.; теплоенергія) та фактори біоенергетичного потенціалу України (біопаливо та відходи; землі вирощування біомаси; природні умови). Обрано період визначення прогнозування – 6 місяців, 1 рік, 2 роки та 3 роки. Зображено структуру економічної моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності у вигляді «дерева логічного висновку».

За результатами проведеного експерименту з моделювання впливу факторів на рівень енергетичної незалежності АПК України у математичному комплексі Matlab 2019 з використанням Image Toolbox, було встановлено, що аграрний сектор економіки може здійснити перехід на самозабезпечення енергетичними ресурсами власного виробництва, збільшивши при цьому виробництво біомас, як сировини для виробництва альтернативних видів палива.

Представленими дослідженнями та результатами економіко-математичного моделювання, встановлено, що агропромисловий комплекс України, без загрози продовольчій

безпеці держави та експортному потенціалу галузі, має можливість із вирощеної біомаси та відходів тваринницької галузі (гній, пташиний послід) виробити енергії не менше 21,83 млн.т.н.е., що в декілька разів перевищує потребу аграрного сектору України в енергії.

The article considers the agro-industrial complex as one of the budget and export-forming sectors of the state economy, which plays a key role in ensuring food security. It is analyzed that in the structure of energy consumption of the agro-industrial complex of Ukraine almost completely occupy traditional types of energy, such as petroleum products, natural gas, coal and other sources, which more than 50% of the country's economy is provided by imported purchases. This situation leads to the dependence on the supply of energy resources from other countries.

The issue of ensuring the energy independence of the agricultural sector of Ukraine on the basis of sustainable development is studied and an economic-mathematical model for estimating and forecasting its level based on the theory of fuzzy logic is developed. Energy independence level factors of the agro-industrial complex of Ukraine are determined, which are gathered into two groups: factors of primary energy production in Ukraine (coal and peat; crude oil; natural gas; nuclear energy; hydroelectricity; wind, solar energy, etc.; heat energy) and factors of bioenergy potential of Ukraine (biofuels and waste; biomass land; natural conditions).

According to the results of the experiment on modeling the impact of factors on the level of energy independence of Ukraine in the mathematical complex Matlab 2019 using Image Toolbox, it was found that the agricultural sector can make the transition to self-sufficiency of energy resources, increasing biomass production as raw materials alternative fuels. The forecasting period was chosen - 6 months, 1 year, 2 years and 3 years. The structure of the economic model of estimating and forecasting the level of energy independence in the form of a "logical inference tree" is shown.

The presented research and the results of economic and mathematical modeling show that the agro-industrial complex of Ukraine, without threatening the food security of the state and the export potential of the industry, has the ability to produce energy from grown biomass and livestock waste (manure, poultry manure) at least 21.83 million. ie, which is several times higher than the energy needs of the agricultural sector of Ukraine.

Ключові слова: моделювання; прогнозування; агропромисловий комплекс; енергетична незалежність; біопалива; нечітка логіка.

Key words: modeling; forecasting; agro-industrial complex; energy independence; biofuels; fuzzy logic.

Постановка проблеми. Агропромисловий комплекс України – бюджетоформуюча галузь економіки країни, яка відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та виконує експортоформуючу функцію. Для ефективного функціонування галузі необхідне безперебійне постачання енергетичними ресурсами, за стабільними цінами, та підвищення енергоефективності їх використання. Потрібно враховувати і те, що у структурі енергоспоживання АПК України найбільшу частку займають традиційні види енергії такі, як нафтопродукти, природний газ, вугілля та інші джерела, якими економіка країни забезпечена на 50-60%, а це призводить до залежності від постачання енергетичних ресурсів із інших країн. Такий стан енергозабезпечення не лише погіршує економічну ситуацію, а й ставить під загрозу енергетичну й продовольчу незалежність держави. Аграрний сектор має достатній потенціал для підвищення енергоефективності та переходу на відновлювані джерела енергії задля забезпечення не лише енергетичної незалежності галузі, а й країни в цілому. АПК може здійснити перехід на самозабезпечення енергетичними ресурсами власного виробництва, збільшивши при цьому виробництво біомас, як сировини для виробництва альтернативних видів палива. Саме тому особливої актуальності набуває питання забезпечення енергетичної незалежності АПК України на засадах сталого розвитку та розробки економіко-математичної моделі оцінювання та прогнозування її рівня.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розробки економіко-математичної моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності агропромислового комплексу України пропонуємо використовувати математичний апарат – теорію нечіткої логіки.

Методи теорії нечітких множин є зручним засобом проектування інтерфейсів у людино-машинних системах. На основі нечіткого логічного виведення будуються системи керування, подання знань, підтримки прийняття рішень, апроксимації, структурної та параметричної ідентифікації, розпізнавання образів,

оптимізації, які вдало використовується в інших галузях людської діяльності. Теорію нечіткої логіки в технічних системах досліджували Л. Заде [3], О. Ротштейн [4], С. Штовба [4], О. Козачко [5] та інші. Послідовниками застосування теорії нечітких множин для опису економічних процесів та розробки ефективних економіко-математичних моделей на її основі в Україні стали С. Козловський [1], А. Матвійчук [2], Н. Варшавська [12] та інші, однак для моделювання і прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України вона пропонується вперше.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка економіко-математичної моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності агропромислового комплексу України.

Виклад основних результатів дослідження. Прийняття рішень у проблемно-орієнтованих економічних інформаційних системах та системах керування здійснюється в умовах апріорної невизначеності, обумовленої неточністю або неповнотою вхідних даних, стохастичною природою зовнішніх впливів, відсутністю адекватної математичної моделі функціонування, нечіткістю мети, людським фактором та ін. Невизначеність системи призводить до зростання ризиків від прийняття неефективних рішень, результатом чого можуть бути негативні економічні, технічні та соціальні наслідки. Невизначеності у системах прийняття рішень компенсують за допомогою різноманітних методів штучного інтелекту. Для ефективного прийняття рішень при невизначеності умов функціонування системи застосовують методи на основі правил нечіткої логіки. Такі методи ґрунтуються на нечітких множинах і використовують лінгвістичні величини і висловлювання для опису стратегій прийняття рішень. Відповідно до поставленої мети, оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК та України в цілому базується на використанні комплексних показників (табл. 1) [7], що характеризують кожну з його складових, наведено у табл. 2.

Таблиця 1.
Виробництво первинної енергії в Україні за видами у 1990-2018 рр., тис. т.н.е.

Показник	Роки						
	1990	1991	2014	2015	2016	2017	2018
Вугілля й торф	86808	73824	31891	17423	22869	13696	14087
Сира нафта	5274	4954	2817	2618	2304	2208	2341
Природний газ	22599	18925	15022	14814	15175	15472	16487
Атомна енергія	19849	19576	23191	22985	21244	22449	22145
Гідроелектроенергія	904	1007	729	464	660	769	897
Вітрова, сонячна енергія і т. п.	-	-	134	134	124	149	197
Теплоенергія	-	-	745	571	599	546	534
Біопаливо та відходи	360	329	2399	2606	3348	3575	3726
Усього	135794	118615	76928	61614	66323	58863	60413

Джерело: таблиця сформована за даними Державної служби статистики України [7]

Таблиця 2.
Класифікація факторів впливу на рівень енергетичної незалежності АПК України

№ п/п	Назва показника	Одиниця виміру
<i>Виробництво первинної енергії в Україні</i>		
1.	Вугілля й торф	тис. т.н.е.
2.	Сира нафта	тис. т.н.е.
3.	Природний газ	тис. т.н.е.
4.	Атомна енергія	тис. т.н.е.
5.	Гідроелектроенергія	тис. т.н.е.
6.	Вітрова, сонячна енергія і т. п.	тис. т.н.е.
7.	Теплоенергія	тис. т.н.е.
<i>Біоенергетичний потенціал України</i>		
8.	Біопаливо та відходи	тис. т.н.е.
9.	Землі вирощування біомаси	млн. га.
10.	Природні умови	бали

Джерело: власна розробка

Для розв'язання поставленої проблеми пропонується використовувати економіко-математичні моделі, які базуються на основі нечіткої логіки (множин). Методи нечіткої логіки (множин) особливо корисні за відсутності точної математичної моделі функціонування системи. Теорія нечітких множин дає можливість застосувати для прийняття рішень неточні та суб'єктивні експертні знання про предметну область, без

формалізації їх у вигляді традиційних математичних моделей.

Із використанням теорії нечітких множин вирішуються питання узгодження суперечливих критеріїв прийняття рішень, створення логічних регуляторів систем. Нечіткі множини дають змогу застосовувати лінгвістичний опис складних процесів, встановлювати нечіткі відношення між поняттями, прогнозувати поведінку системи, формувати множину альтернативних дій, виконувати формальний опис нечітких правил прийняття рішень.

Методологія моделювання на основі теорії нечіткої логіки в економіці передбачає поетапне розв'язання таких задач: виокремлення основних факторів впливу, які характеризують енергетичну незалежність; формалізацію взаємозв'язків між факторами впливу в узагальненому вигляді; визначення і формалізацію лінгвістичних оцінок факторів впливу; побудову нечіткої бази знань, яка визначає взаємозв'язки між факторами впливу; виведення нечітких логічних рівнянь на основі лінгвістичних оцінок і нечіткої бази знань; оптимізацію параметрів нечіткої моделі.

На основі дотримання базових принципів проведення моделювання засобами теорії нечіткої логіки [5] визначення рівня енергетичної незалежності АПК України та чинний понятійний апарат теорії нечіткої логіки, вхідними параметрами моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України будуть показники, які були розглянуті в табл. 2 та зведені відповідно до вимог моделювання у табл. 3.

Таблиця 3.
Вхідні фактори (змінні) моделі та їх лінгвістична оцінка

Вхідний параметр (змінна)	Назва вхідного параметра (змінної)	Діапазон зміни вхідного параметра	Лінгвістична оцінка вхідних параметрів (терми)
x_1	Вугілля й торф	10000-20000 тис.т.н.е.	Низький, 10000-12000, (Н) Середній, 12000-16000, (С) Високий, 16000-20000 (В)
x_2	Сира нафта	1000-5000 тис.т.н.е.	Низький, 1000-1500, (Н) Середній, 1500-2000, (С) Високий, 2000-5000, (В)
x_3	Природний газ	10000-20000 тис.т.н.е.	Низький, 10000-12000, (Н) Середній, 12000-16000, (С) Високий, 16000-20000, (В)
x_4	Атомна енергія	15000-30000 тис.т.н.е.	Низький, 15000-20000, (Н) Середній, 20000-25000, (С) Високий, 25000-30000, (В)
x_5	Гідроелектроенергія	500-1500 тис.т.н.е.	Низький, 500-800, (Н) Середня, 800-1200, (С) Висока, 1200-1500, (В)
x_6	Вітрова, сонячна енергія і т. п.	50-1000 тис.т.н.е.	Низький, 50-200, (Н) Середній, 200-600, (С) Високий, 600-1000, (В)
x_7	Теплоенергія	200-1500 тис.т.н.е.	Низький, 200-800, (Н) Середній, 800-1100, (С) Високий, 1100-1500, (В)
x_8	Біопаливо та відходи	200-10000 тис.т.н.е.	Низький, 200-2000, (Н) Середня, 2000-5000, (С) Високий, 5000-10000, (В)
x_9	Землі вирощування біомаси	5-20 млн.га	Низький, 5-7, (Н) Середній, 7-10, (С) Високий, 10-20, (В)
x_{10}	Природні умови	0-100 бали	Негативні, 0-30, (Н) Достатні, 31-60, (С) Позитивні 61-100, (В)

Джерело: власна розробка

Для забезпечення коректності математичних висновків, встановлено ієрархічні зв'язки між факторами, що впливають на рівень енергетичної незалежності АПК України. Вони об'єднані у такі групи (згідно табл. 2): виробництво первинної енергії в Україні (v); біоенергетичний потенціал України (b). Зазначені групи факторів впливу у вигляді «дерева виведення» наведено на рис. 1-2.

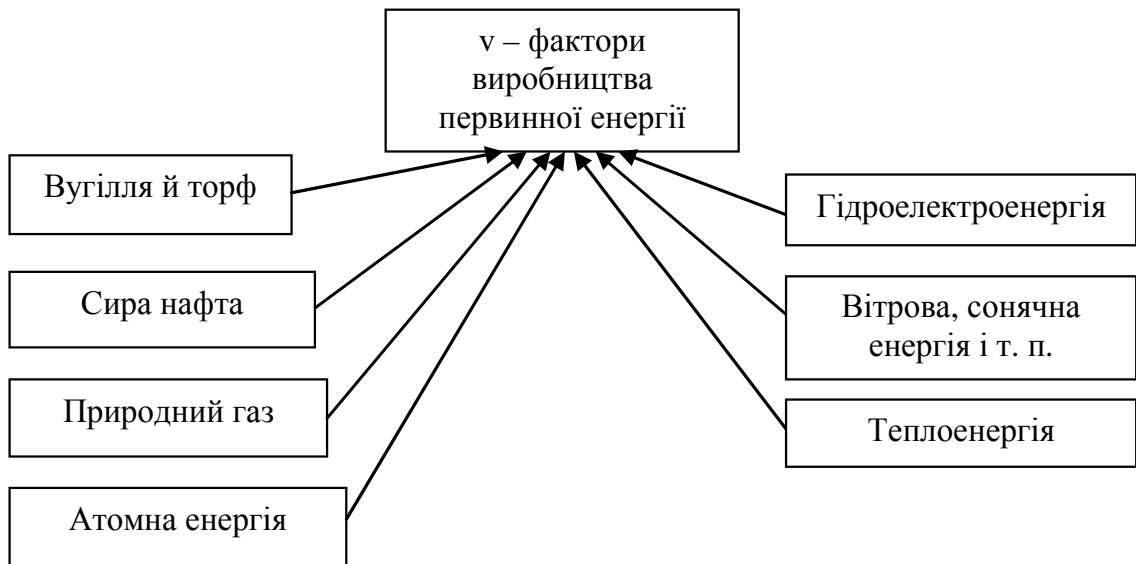


Рис. 1. Класифікація факторів виробництва первинної енергії в Україні
Джерело: власна розробка

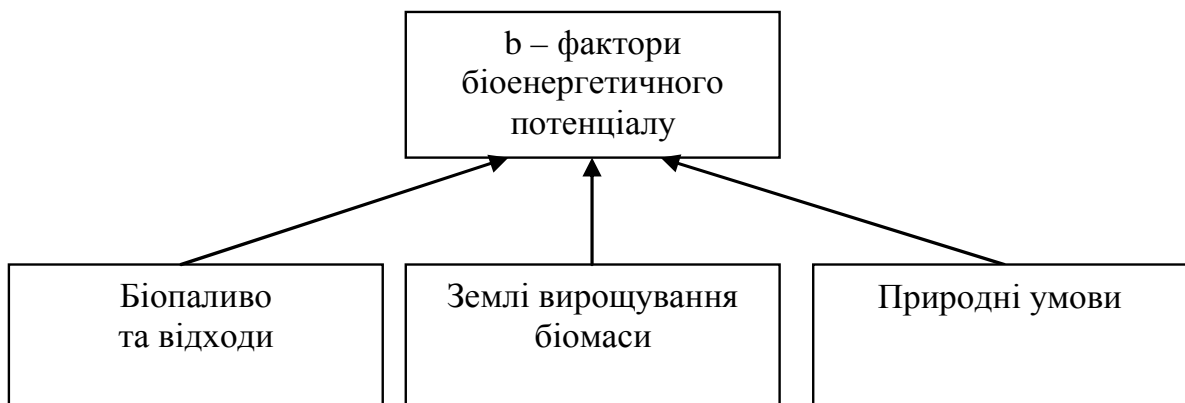


Рис. 2. Класифікація факторів біоенергетичного потенціалу України
Джерело: власна розробка

Використовуючи розроблені структурні схеми, які наведені на рис. 1-2, позначимо лінгвістичні змінні факторів v , b за допомогою таких співвідношень:

$$v = f_v(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7), \quad (1)$$

$$b = f_b(x_8, x_9, x_{10}), \quad (2)$$

де $x_1 \dots x_7$ – фактори виробництва первинної енергії в Україні;

$x_8 \dots x_{10}$ – фактори біоенергетичного потенціалу України.

Тоді, вихідну величину, тобто рівень енергетичної незалежності АПК України, можна визначити за формулою (3):

$$E = f_E(v, b, t), \quad (3)$$

де v , b , та t – лінгвістичні змінні, що описують, відповідно, фактори виробництва первинної енергії; фактори біоенергетичного потенціалу України; період прогнозування. Період прогнозування t в подальшому буде закодований двома знаками за зразком: (6М, 1Р, 2Р, 3Р, де літерами М та Р позначені місяць та рік).

На основі використання знань експертів [13, 14, 15], відповідно до конкретної економічної ситуації, що склалася в енергетичній галузі, рівень енергетичної незалежності АПК України можна охарактеризувати такими рівнями (за шкалою від «0» до «100»):

- E_1 (85-100) – високий рівень енергетичної незалежності (клас 1);
- E_2 (66-84) – середній рівень енергетичної незалежності (клас 2);
- E_3 (51-65) – задовільний рівень енергетичної незалежності (клас 3);
- E_4 (31-50) – незадовільний рівень енергетичної незалежності (клас 4);
- E_5 (0-30) – відсутність енергетичної незалежності (клас 5).

У таблиці 4 наведено універсальні множини та оціночні терми факторів впливу $x_1 \dots x_{10}$, а оцінка узагальнених показників v , b здійснена за єдиною бальною шкалою із діапазоном від «0» до «100» балів.

Таблиця 4.
Узагальнені вхідні показники та їх лінгвістична оцінка

Назва	Позначення	Вхідні параметри	Лінгвістична оцінка вхідних параметрів (терми)
Фактори виробництва первинної енергії в Україні	v	$x_1 \dots x_7$	Низький, 0-30, (Н) Середній, 30-60, (С) Високий, 60-100, (В)
Фактори біоенергетичного потенціалу України	b	$x_8 \dots x_{10}$	
Період визначення стану (або прогнозування)	t	t	$t_1 = 6$ місяців; $t_2 = 1$ рік; $t_3 = 2$ роки; $t_4 = 3$ роки

Джерело: власна розробка

Структуру економічної моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності подамо у вигляді «дерева логічного висновку», або у вигляді системи нечіткого логічного виведення. Система побудована за схемою багатопшарової штучної нейронмережі. Структурна модель оцінювання та прогнозування рівня енергетичної безпеки України буде мати вигляд, наведений на рис. 3.

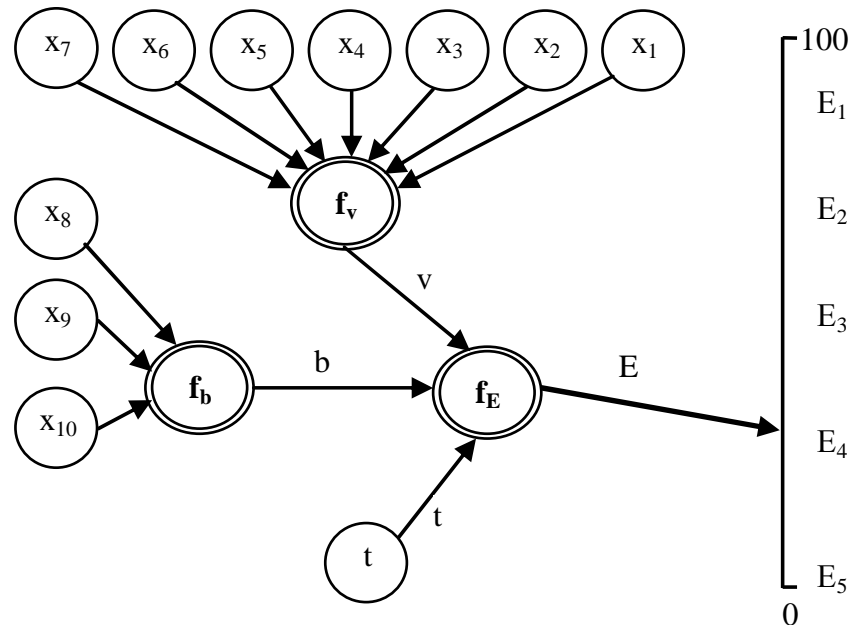


Рис. 3. Структурна модель оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України
Джерело: власна розробка

Для узагальнення правил відбувається агрегування їх нечітких виходів в одну нечітку множину з її подальшим перетворенням на чітке вихідне значення. Вершини «дерева логічного висновку» інтерпретуються таким чином: корінь дерева f_E – відповідає рівню енергетичної незалежності АПК України; термінальні вершини $x_1 \dots x_{10}$ – це відповідні фактори впливу; нетермінальні вершини f_v, f_b , (подвійні кола) – це сукупність часткових факторів впливу в їх сукупності. Термінальні та нетермінальні вершини «дерева логічного» висновку являють собою лінгвістичні змінні універсальної множини, які наведені у табл. 3 та табл. 4.

При фазифікації вхідних факторів моделі оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України ми оперували вхідними кількісними та вхідними якісними параметрами одночасно. Вхідні параметри $\{x_1 \dots x_9\}$ є кількісними, і для їх опису були використані статистичні дані; параметри $\{x_{10}\}$ – якісний, тому для його опису використовувалася бальна шкала оцінок від «0» до «100» балів.

Нечіткі вхідні значення системи перетворюються на вихідні на основі правил нечіткої логіки, що характерно для експертних систем прийняття рішень. Теорія нечітких множин передбачає визначення рівнів (термів) змін вихідного показника, та відповідно до нашої моделі, ми отримали два вихідних показника, для оцінки яких використовуються нечіткі терми зі шкалами, наведеними в табл. 3 та табл. 4. Кожний терм подається нечіткою множиною із відповідною функцією належності. Для опису термів скористаємося методикою, наведеною в [1, 2]. При цьому терми подамо у вигляді нечітких множин, використовуючи модель функції належності (ФН):

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left[\frac{x - b}{c} \right]^2}, \quad (4)$$

де b і c – параметри функції належності (ФН);

b – координата максимуму функції;

c – коефіцієнт концентрації розтягування.

Значення коефіцієнтів b і c для змінних $x_1 \dots x_{10}$, v , b , E наведено в табл. 5.

Таблиця 5.
Значення параметрів b і c функцій належності змінних $x_1 \dots x_{10}$, v , b , E

Вхідні змінні (параметр)	Назва вхідної змінної (параметра)	Лінгвістична оцінка вхідних змінних (терми)	b	c
x_1	Вугілля й торф	Низький, 10000-12000, (Н) Середній, 12000-16000, (С) Високий, 16000-20000 (В)	11000 14000 18000	700 1900 1200
x_2	Сира нафта	Низький, 1000-1500, (Н) Середній, 1500-2000, (С) Високий, 2000-5000, (В)	1200 1800 3800	800 1200 1500
x_3	Природний газ	Низький, 10000-12000, (Н) Середній, 12000-16000, (С) Високий, 16000-20000, (В)	11000 14000 18000	900 1200 1500
x_4	Атомна енергія	Низький, 15000-20000, (Н) Середній, 20000-25000, (С) Високий, 25000-30000, (В)	18000 22000 27000	1500 2200 2500
x_5	Гідроелектроенергія	Низький, 500-800, (Н) Середня, 800-1200, (С) Висока, 1200-1500, (В)	750 1000 1350	200 250 200
x_6	Вітрова, сонячна енергія і т. п.	Низький, 50-200, (Н) Середній, 200-600, (С) Високий, 600-1000, (В)	120 400 800	100 300 200
x_7	Теплоенергія	Низький, 200-800, (Н) Середній, 800-1100, (С) Високий, 1100-1500, (В)	500 950 1300	200 250 150
x_8	Біопаливо та відходи	Низький, 200-2000, (Н) Середня, 2000-5000, (С) Високий, 5000-10000, (В)	1000 3500 8000	1500 1800 2000
x_9	Землі вирощування біомаси	Низький, 5-7, (Н) Середній, 7-10, (С) Високий, 10-20, (В)	6 8 15	2 4 7
x_{10}	Природні умови	Негативні, 0-30, (Н) Достатні, 31-60, (С) Позитивні 61-100, (В)	15 45 80	12 20 25
v, b	Фактори виробництва первинної енергії в Україні. Фактори біоенергетичного потенціалу України.	Низький, 0-30, (Н) Середній, 31-60, (С) Високий 61-100, (В)	15 45 75	20 25 20
E	Рівень енергетичної незалежності АПК України	1 клас, (1) (V) 2 клас, (2) (S) 3 клас, (3) (Z) 4 клас, (4) (N) 5 клас, (5) (P)	95 85 60 42 15	20 20 25 15 12

Джерело: власна розробка

Визначення значень функцій належності шкали знань у загальному випадку ґрунтується на імовірнісній інтерпретації цих функцій. Її зміст полягає у тому, що різні люди можуть по різному оцінювати ступінь належності того чи іншого об'єкта, явища, процесів до множини подібних об'єктів, чи явищ, процесів, що складають групу або клас таких об'єктів. Більш того, та сама людина, в залежності від конкретних умов, може привласнити різний ступінь належності того самого об'єкта по тій самій множині. Обраний вид функції належності даного типу (див. фор. 4) обумовлений тим, що ця функція є достатньо гнучкою та простою, оскільки задається лише двома параметрами, а також є більш зручною для подальшого налагодження моделі.

Лінгвістичні оцінки вхідних параметрів функцій належності наведено у табл. 5, а їх графіки для узагальнених вхідних показників v , b , E наведено на рис. 4-5.

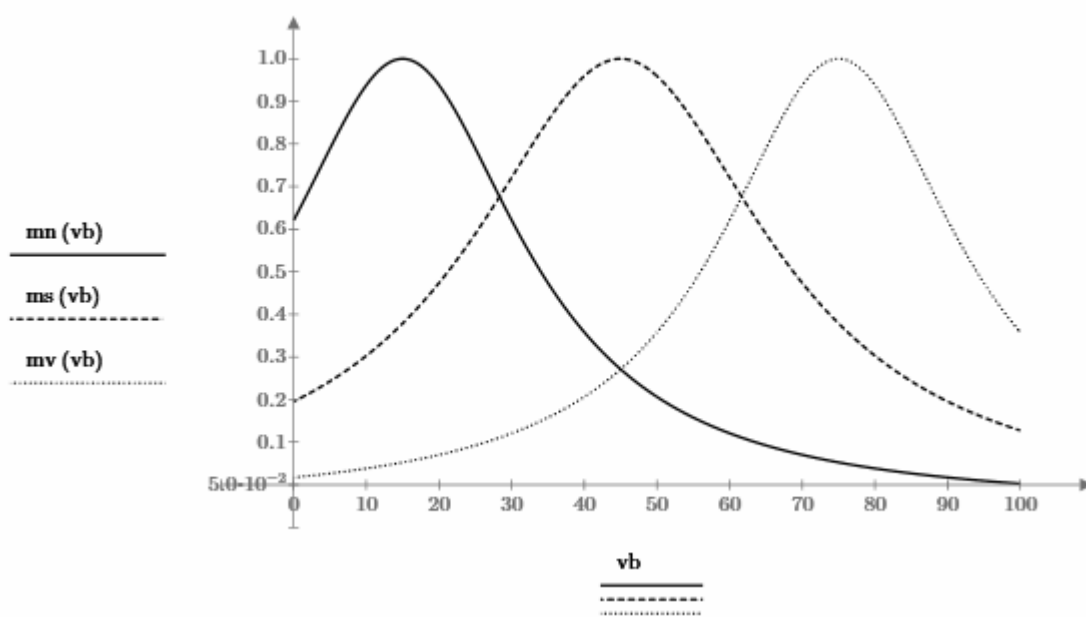


Рис. 4. Функція належності для змінних v , b
Джерело: власна розробка

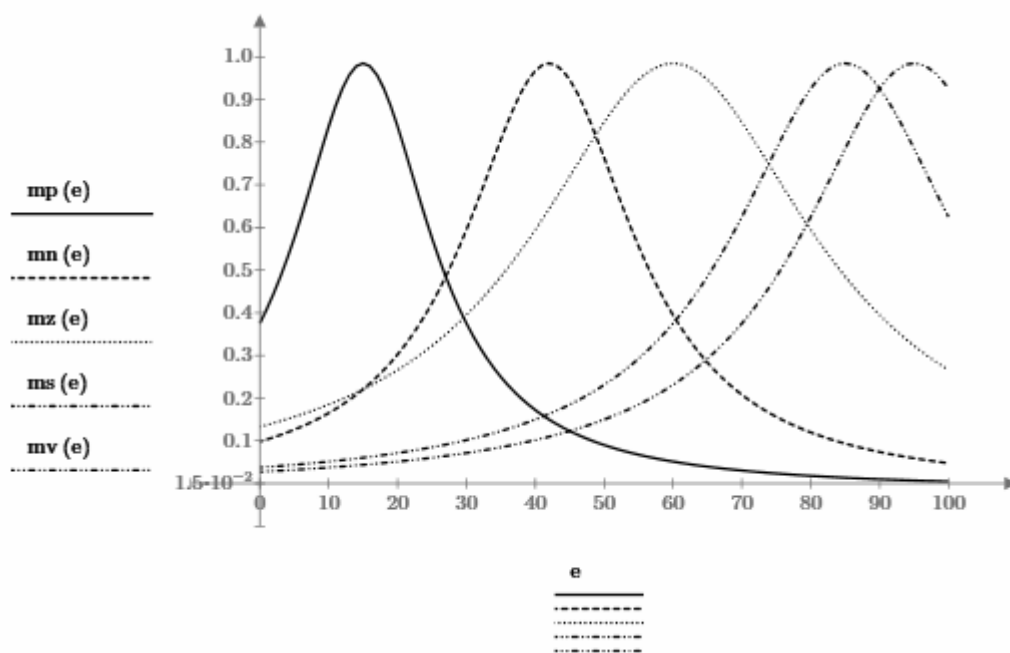


Рис. 5. Функція належності для вихідного показника E
Джерело: власна розробка

Наступним кроком моделювання, відповідно до обраної методології моделювання [1, 2] рівня енергетичної незалежності АПК України, є складання ієрархічної бази знань. Для побудови нечіткої бази знань, як правило, залучають експертів у відповідній предметній області, у нашому випадку інформація, отримана від фахівців Департаменту агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів, Департаменту міжнародного співробітництва та регіонального розвитку Вінницької облдержадміністрації та Головного управління статистики у Вінницькій області, а також фактографічна інформація центральних органів виконавчої влади України та інформація фахівців даної галузі. Правила будемо будувати за таким алгоритмом: генеруємо випадкові значення для вхідних параметрів та обчислюємо значення вихідного параметра; для отриманих значень вхідних і вихідного параметрів вибираємо ті лінгвістичні терми, для яких значення функції належності максимальне; генеруємо правило бази знань, використовуючи логічну операцію “та” та

лінгвістичні терми; повторюємо попередні кроки необхідну кількість раз.

У якості прикладу, розглянемо залежність (3), тобто вихідну величину – рівень енергетичної незалежності АПК України. Оцінювання значень лінгвістичних змінних, які показують причинно-наслідкові зв'язки між рівнем енергетичної незалежності АПК України E та факторами виробництва первинної енергії; факторами біоенергетичного потенціалу України відбувається завдяки системі терм-множин, яка наведена в табл. 5. Тоді база знань для змінної E , яка характеризує рівень енергетичної незалежності АПК України, буде мати вигляд, наведений у табл. 6.

Таблиця 6.
База знань змінної E

v	b	t	E	w
H	H	t_1	E_5	w_1
H	C	t_2	E_5	w_2
C	H	t_4	E_5	w_3
H	C	t_2	E_4	w_4
C	C	t_3	E_4	w_5
C	H	t_1	E_4	w_6
C	C	t_4	E_3	w_7
B	H	t_1	E_3	w_8
B	H	t_2	E_3	w_9
C	B	t_3	E_2	w_{10}
B	C	t_2	E_2	w_{11}
B	B	t_1	E_2	w_{12}
B	B	t_3	E_1	w_{13}
B	C	t_4	E_1	w_{14}
C	B	t_2	E_1	w_{15}

Джерело: власна розробка

Доведено, що кожне правило бази знань являє собою висловлювання «ЯКЩО-ТО». Правила, які мають однаковий вихідний параметр, об'єднуються у рядках таблиці логічним висловлюванням «АБО». Вага правила w виражає суб'єктивну впевненість експерта у цьому правилі. На етапі формування структури нечіткої моделі ваги всіх правил бази знань беремо рівними одиниці [1, 2]. Для реалізації нечіткого логічного висновку необхідно здійснити перехід від логічних висловлювань до нечітких логічних рівнянь. При нечіткому логічному виведенні паралельно опрацьовують велику кількість правил із подальшим їх агрегуванням у завершальне рішення. Правила можуть будуватися на основі досвіду та знань експертів, створенням моделі дій оператора, методом навчання. При проектуванні систем на основі нечіткої логіки важливо забезпечити можливість їх пристосування до змін навколишнього середовища методом навчання бази правил за експериментальними даними. Навчання полягає в адаптивному підборі параметрів нечітких множин та автоматичному генеруванні правил нечіткого логічного виведення. Тоді наведеним в таблиці 6 лінгвістичним висловлюванням будуть відповідати такі нечіткі логічні рівняння (див. формули 5-9):

$$\begin{aligned} \mu^{E_5}(E) = & w_1 \cdot [\mu^H(v) \cdot \mu^H(b) \cdot \mu^{t_1}(t)] \vee \\ & w_2 \cdot [\mu^H(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_2}(t)] \vee \\ & w_3 \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^H(b) \cdot \mu^{t_4}(t)]; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu^{E_4}(E) = & w_4 \cdot [\mu^H(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_2}(t)] \vee \\ & w_5 \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_3}(t)] \vee \\ & w_6 \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^H(b) \cdot \mu^{t_1}(t)]; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu^{E_3}(E) = & w_7 \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_4}(t)] \vee \\ & w_8 \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^H(b) \cdot \mu^{t_1}(t)] \vee \\ & w_9 \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^H(b) \cdot \mu^{t_2}(t)]; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu^{E_2}(E) = & w_{10} \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^B(b) \cdot \mu^{t_3}(t)] \vee \\ & w_{11} \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_2}(t)] \vee \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & w_{12} \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^B(b) \cdot \mu^{t_2}(t)]; \\ \mu^{E_1}(E) = & w_{13} \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^B(b) \cdot \mu^{t_3}(t)] \vee \\ & w_{14} \cdot [\mu^B(v) \cdot \mu^C(b) \cdot \mu^{t_4}(t)] \vee \\ & w_{15} \cdot [\mu^C(v) \cdot \mu^B(b) \cdot \mu^{t_5}(t)]. \end{aligned} \quad (9)$$

Значення ступенів функцій належності в рівняннях (5)-(9) визначаються нечіткими базами знань, які характеризуються факторами виробництва первинної енергії; факторами біоенергетичного потенціалу України. Нечіткі бази знань цих показників та їх нечіткі логічні рівняння наведено в додатку W.

Логічні рівняння (5)-(9) є математичною реалізацією моделі оцінювання та прогнозування енергетичної незалежності АПК України.

Після визначення індивідуальних виходів правил здійснюється дефазифікація агрегованого виходу. В загальному, етап дефазифікації є обов'язковим і використовується за необхідності перетворення виведених нечітких лінгвістичних змінних до точного значення. Існують різні методи дефазифікації, вибір і застосування яких залежить від об'єкта моделювання [1, 2, 4].

Виходячи з характеристик об'єкта моделювання та характеру вихідного параметра, для розв'язання логічних рівнянь оберемо метод дефазифікації, який має назву «метод центру ваг розширений» [1, 4]. У цьому випадку для визначення «центру ваг» потрібно штучно розширити діапазон вихідного параметра (змінної). Центром ваг буде значення абсциси, яке визначає положення «центру ваг», що лежить нижче графіка її функції належності.

У нашому випадку, коли вихідний параметр (змінна) має «n» термів, розрахунок центра ваг зводиться до розв'язання рівняння 10:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n [E_E + (i-1) \cdot \frac{E_A - E_E}{n-1}] \cdot \mu^{E_i}}{\sum_{i=1}^n \mu^{E_i}} \quad (10)$$

де n – кількість (дискретних значень) термів змінної «E»;

$E_E(E_A)$ – нижня (верхня) межа діапазону змінної «E»;

μ^{E_i} – функція належності змінної «E» до нечіткого терма «E_i».

У математичному пакеті Matlab 6.1 [6] було проведено експеримент із застосуванням вище наведеної методики. На рисунку 6 зображено результати оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України до 2025 року. Результати було отримано на основі аналізу значень факторів впливу (розвитку) за 2012-2018 рр.

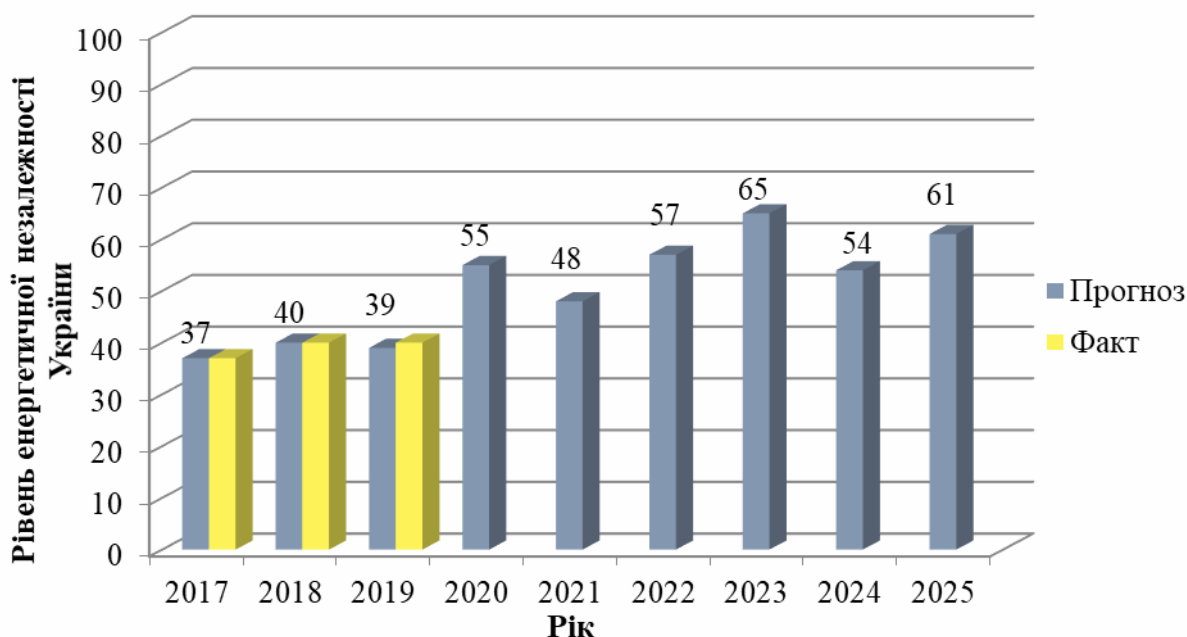


Рис. 6. Результати оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України

Джерело: власна розробка

Аналізуючи результати моделювання рівня енергетичної незалежності АПК України на 2020-2025 рр, можна зробити такий прогноз: у 2020 р., 2022-2025 рр. рівень енергетичної незалежності АПК України буде віднесено до класу 3 – «задовільний рівень енергетичної незалежності АПК України». У 2021 р. прогнозний

рівень енергетичної незалежності АПК України погіршиться до класу 4 – «незадовільний рівень енергетичної незалежності АПК України».

Для поліпшення достовірності прогнозу рівня енергетичної незалежності АПК України потрібно провести оптимізацію (налагодження) даної моделі, але ця задача виходить за межі даного дослідження.

За результатами проведеного експерименту з моделювання впливу факторів на рівень енергетичної незалежності АПК України у математичному комплексі Matlab 2019 з використанням Image Toolbox [Ошибка! Закладка не определена.], було встановлено наступне: за умов збільшення земель вирощування біомаси та збільшення рівня виробництва біопалива можливо забезпечити високий рівень енергетичної незалежності АПК України (рис. 7).

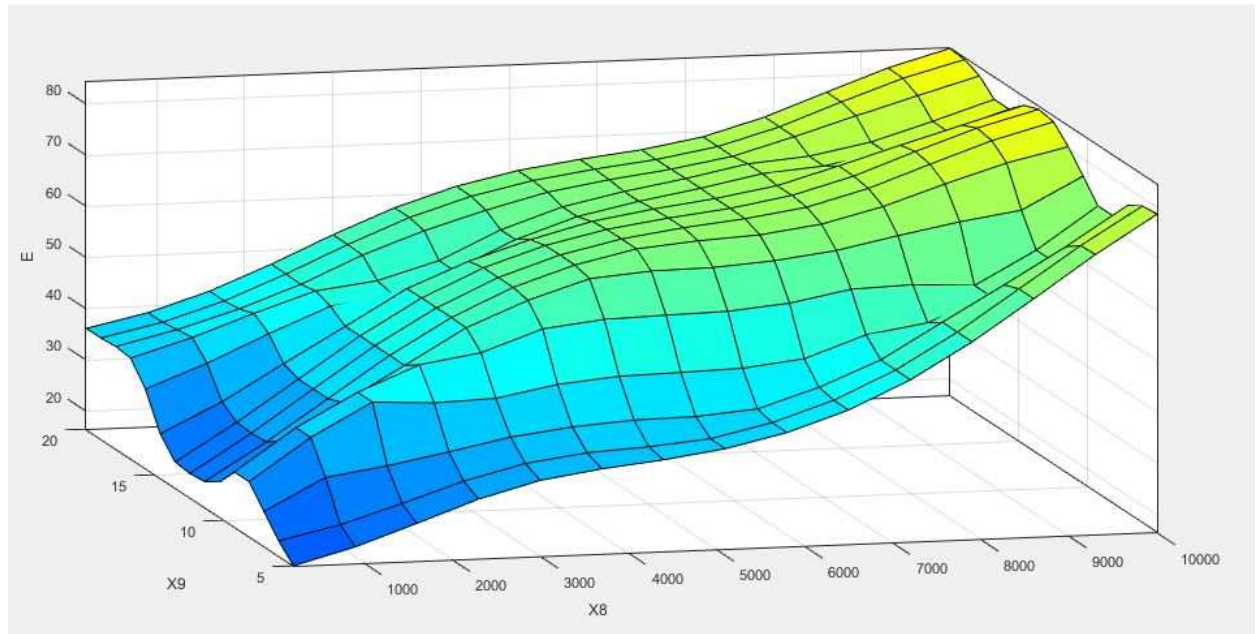


Рис. 7. Експеримент, встановлення залежності рівня енергетичної незалежності АПК E від факторів x_9 (землі вирощування біомаси) та x_8 (біопаливо та відходи)

У результаті проведеного наукового дослідження розроблено математичну модель оцінювання та прогнозування рівня енергетичної незалежності АПК України, в основу якої покладено математичний апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Суттєвою перевагою розробленої моделі, порівняно з відомими моделями, є те, що зв'язок між вхідними параметрами і вихідним параметром описується за допомогою понять природної мови, які, об'єктивно, є значно «ближчими» для експертів-аналітиків, ніж абстрактні математичні поняття. Це забезпечує високий рівень адекватності формалізації експертних знань про вплив вхідних показників на рівень енергетичної незалежності АПК України. Ще однією перевагою моделі є «гнучкість» її структури, що дає можливість вводити у неї додаткові параметри чи вилучати наявні, розширювати діапазони варіації параметрів, змінювати взаємозв'язки між параметрами без зміни структури самої моделі. Також розроблена модель має високу здатність адаптації до експертних даних завдяки наявності в ній значної кількості параметрів, які можуть бути оптимізовані.

Висновки. Представленими дослідженнями та результатами економіко-математичного моделювання, встановлено, що агропромисловий комплекс України, без загрози продовольчій безпеці держави та експортному потенціалу галузі, має можливість із вирощеної біомаси та відходів тваринницької галузі (гній, пташиний послід) виробити енергії не менше 21,83 млн т.н.е., що в декілька разів перевищує потребу АПК України в енергії.

Таким чином, аграрний сектор економіки, маючи достатній потенціал для переходу на відновлювальні джерела енергії, здійснить формування достатніх обсягів альтернативних видів палив, що забезпечить енергетичну незалежність АПК України.

Список використаної літератури.

1. Козловський С.В., Мазур Г.Ф. Моделювання та прогнозування рівня державного стимулювання агропромислового виробництва в Україні на основі теорії нечіткої логіки. *Економіка та держава*. 2017. № 9. С. 8-15
2. Матвійчук А. В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки. Монографія. Київ : КНЕУ, 2007. 264 с.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. Москва : Мир, 1976. 176 с.
4. Rotshtein A., Shtovba S. Modeling of the Human Operator Reliability with the Aid of the Sugeno Fuzzy

Knowledge Base. *Automation and Remote Control*. 2009. Vol. 70, №1. P. 163-169.

5. Паночішин Ю.М., Козачко О.М. Нечітка модель оцінки кредитоспроможності фізичних осіб-позичальників комерційних банків. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. №1, Т2. С.161-168

5. Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2. The MathWorks, Inc., 1999.

6. Pratar R. Getting started with Matlab 5. A quick introduction for scientists and engineers. Oxford University Press, 1999. 230 p.

7. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 18.10.2020).

8. Гончарук І. В. Енергетична незалежність АПК на засадах сталого розвитку. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. № 17-18. С. 29–36. DOI: 10.32702/2306-6814.2020.17-18.29

9. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Volume XI, Summer, 3(43). P. 513–522. DOI: 10.14505/jemt.v11.3(43).02

10. Honcharuk I. Use of Wastes of the Livestock Industry as a Possibility for Increasing the Efficiency of AIC and Eeplenishing the energy Balance. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*. 2020. vol. 9, №1. P. 9–14. DOI: 10.2478/vjbsd-2020-0002

11. Kaletnik G., Honcharuk I., Yemchuk T., Okhota Yu. The World Experience in the Regulation of the Land Circulation. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. №9(2). P. 557–568 DOI: 10.14207/ejsd.2020.v9n2p557

12. Варшавська Н. Г. Аналіз європейського ринку органічної продукції. *Economic and law paradigm of modern society*. 2016. Т. 2. С. 19-24.

13. Офіційний сайт Міністерства розвитку, економіки, торгівлі та сільського господарства України URL: <https://www.me.gov.ua/?lang=uk-UA> (дата звернення 18.10.2020).

14. Калетнік Г.М Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України [Текст] //Г.М. Калетнік. – К.: Хай-Тек Прес, 2010. – 516 с.

15. Калетнік Г.М. Диверсифікація розвитку виробництва біопалив – основа забезпечення продовольчої, енергетичної, економічної та екологічної безпеки України. *Вісник аграрної науки*. 2018. №11. С. 169-176. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-21>

References.

1. Kozlovskiy, S. and Mazur, G. (2017), “Modeling and forecasting of the state level stimulation of agricultural production in Ukraine based on the theory of fuzzy logic”, *Ekonomika ta derzhava*, vol. 9, pp. 8–15.

2. Matvijchuk, A. V. (2007), *Modeliuvannia ekonomichnykh protsesiv iz zastosuvanniam metodiv nechitkoi lohiky* [Modeling of economic processes using fuzzy logic methods], KNEU, Kyiv, Ukraine.

3. Zade, L. (1976), *Poniatye linyvystycheskoj peremennoj y ee pryomenenye k pryniatyiuy pryblzhennykh reshenyj* [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions], Myr, Moscow, Russia.

4. Rotshtein, A. and Shtovba, S. (2009), “Modeling of the Human Operator Reliability with the Aid of the Sugeno Fuzzy Knowledge Base”, *Automation and Remote Control*, Vol. 70, no.1, pp. 163-169.

5. Panochyshyn, Yu.M. and Kozachko, O.M. (2010), “Fuzzy model for assessing the creditworthiness of individuals borrowing from commercial banks”, *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*, vol.1, no.2, pp.161-168

5. The MathWorks (1999), *Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide, Version 2*, The MathWorks, Inc., Massachusetts, USA.

6. Pratar, R. (1999), *Getting started with Matlab 5. A quick introduction for scientists and engineers*, Oxford University Press, Oxford, UK.

7. The State Statistics Service of Ukraine (2020), available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed 18 Oct 2020).

8. Honcharuk, I. (2020), “Energy independence of agro-industrial complex on the basis of sustainable development”, *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, vol. 17-18, pp. 29-36. DOI: 10.32702/2306-6814.2020.17-18.29

9. Kaletnik, G. Honcharuk, I. and Okhota, Yu. (2020), “The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises”, *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. XI, no. 3 (43), pp. 513-522. DOI: 10.14505/jemt.v11.3(43).02

10. Honcharuk, I. (2020), “Use of Wastes of the Livestock Industry as a Possibility for Increasing the Efficiency of AIC and Eeplenishing the energy Balance”, *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, vol. 9 (1), pp. 9-14. DOI: 10.2478/vjbsd-2020-0002

11. Kaletnik, G. Honcharuk, I. Yemchuk, T. and Okhota, Yu. (2020), “The World Experience in the Regulation of the Land Circulation”, *European Journal of Sustainable Development*, vol. 9 (2), pp. 557-568. DOI: 10.14207/ejsd.2020.v9n2p557

12. Varshavs'ka, N. H. (2016), “Analysis of the European market of organic products”, *Economic and law paradigm of modern society*, vol. 2, pp. 19-24.

13. Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine (2020), available at: <https://www.me.gov.ua/?lang=uk-UA> (Accessed 18 Oct 2020).

14. Kaletnik, H.M. (2010), *Biopalyvo: prodovol'cha, enerhetychna ta ekolohichna bezpeka Ukrainy* [Biofuels:

food, energy and environmental security of Ukraine], Khaj-Tek Pres, Kyiv, Ukraine.

15. Kaletnik, H.M. (2018), "Diversification of biofuel production development - the basis for ensuring food, energy, economic and environmental security of Ukraine", *Visnyk ahrarnoi nauky*, vol. 11, pp. 169-176. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-21>.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2020 р.