

**ЮРІЙ КОСТІН**

доктор економічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

**ВОЛОДИМИР ШВЕДКИЙ**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОТРЕБ ВНУТРІШНІХ РИНКІВ ДЛЯ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ В УМОВАХ  
НЕСТАБІЛЬНОГО ЗОВНІШНЬОГО СОЦІАЛЬНО-  
ЕКОНОМІЧНОГО ТА ПОЛІТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА  
В УКРАЇНІ**

s. 143-162

**АНОТАЦІЯ**

У статті розглянуто проблеми енергетичної галузі в Україні, причини та наслідки кризових явищ, що обумовлені впливом нестабільного зовнішнього соціально-економічного й політичного середовища та недосконалими рішеннями щодо реформування та перспектив розвитку галузі. Особлива увага була приділена аналізу електроенергетики як однієї з найважливіших складових енергетичної галузі в Україні. Розроблені у цій роботі моделі та прогнози базуються на вивченні даних часових рядів для основних показників електроенергетичної галузі й можуть бути застосовані при розробці окремих елементів нової Енергетичної стратегії України в умовах нестабільного зовнішнього соціально-економічного й політичного середовища в Україні.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА**

енергетична галузь, стратегія, нестабільне зовнішнє середовище, моделювання

Сучасний період у суспільному, політичному та соціально-економічному виміру є одним з найскладніших та найтяжчих в Україні. Проте й останні три декади, коли країна набула незалежності й намагалася впоратися з різними викликами, також були непростими. Спочатку соціально-економічна криза після розпаду колишнього СРСР, відокремлення економічної та політичної системи в Україні, формування нових політичних та економічних еліт, приватизація та перерозподіл сфер впливу у найважливіших стратегічних сферах економіки, періодичні соціально-економічні загострення та політичні конфлікти, рейдерські атаки та сірі «офшорні» схеми, глобальна фінансово-економічна криза 2008-2009 рр., Революція Гідності, події на Донбасі й в Луганській області, повномасштабна війна з РФ з 24 лютого 2022 р. Все це, безумовно, мало великий вплив на соціально-економічну систему в Україні та на становище окремих секторів економіки [4, 5, 9, 10, 19, 27].

Енергетична галузь в кожній країні світу має дуже велике, стратегічне значення. Ця галузь створює не лише умови для функціонування промисловості й транспорту, промислової інфраструктури, сільського господарства, але й забезпечує нормальні умови для діяльності соціального сектору та ринкової інфраструктури – охорони здоров'я, соціального захисту, соціальної безпеки, торгівлі, громадського транспорту, освіти, науки, культури та спорту тощо. Вона є невідомою складовою інфраструктури міста та безпосередньо впливає на рівень конкурентоспроможності міста [12].

Проблемами енергетичної галузі займалися такі відомі вчені, як Б. Патон, М. Кулик, Б. Стогній, В. Геєць, І. Неклюдов, Г. Півняк, Є. Крижанівський, Ю. Архангельський [1, 17, 19], З. Варналій, В. Євтушевський, А. Халатов [4, 21], В. Омельченко [13], М. Білявський [2], С. Чекунова [22], А. Дронова, Б. Кваснюк, О. Кендюхов, Н. Косар, Л. Назарчук, В. Грушко, Г. Іванов, І. Білінов, Є. Парус, Ю. Куцан та інші [7, 8, 20].

Одними з важливих проблем енергетичної галузі в Україні були проблеми, пов'язані з необхідністю реформ та модернізації обладнання у цій галузі, зниження енерговитрат та енергоємності виробництва, підвищенням тарифів, розвиток альтернативної енергетики та виробництва енергії з відновлюваних джерел [14, 16], проблем визначення ефективного розподілу ресурсів [25, 26]. Окремою важливою проблемою енергетичного сектору України є високий екологічний ризик та екологічна небезпека [11, 23].

Зарубіжні фахівці визначили три пріоритетних напрямків при наданні рекомендацій щодо розвитку енергетичного сектору в Україні:

1. треба підвищити споживчі ціни на газ настільки, щоб вони з одного боку віддзеркалювали його справжню ціну, забезпечуючи рентабельність енергетичного концерну «Нафтогаз України». З другого боку завдяки високим цінам як в домогосподарствах, так і на виробництві з'явиться мотивація заощаджувати енергію;
2. необхідно більш ефективно використовувати наявну енергію, щоб у середньостроковій перспективі знизити її загальне споживання в країні. Нагально необхідними є інвестиції в модернізацію парку електростанцій України та в утеплення будинків. Тому необхідно розвивати нові технології та залучати інвестиції від іноземних та вітчизняних інвесторів;
3. слід забезпечити прозорість у майже непроглядному, високо корупційному та переобтяженому неофіційними структурами секторі й тим самим покращити інвестиційний клімат у цій галузі [18].

При розробці Енергетичної стратегії України з модернізації та розвитку національної енергетики та довгострокових прогнозів п'ятнадцять років тому вчені виходили з більш – менш оптимістичних сценаріїв, коли економіка України вже вийшла з кризи 90-х років й активно почали працювати такі галузі, як промисловість, переробка, будівництво, сільське господарство, тощо [3, 15, 17, 19].

Була розроблена нова структура електроенергетичної системи (ЕЕС) України. Її принциповою відмінністю було те, що в ній до мінімуму зведено використання природного газу на ТЕС та основне навантаження в ЕЕС було покладено на АЕС та вугільні ТЕС [16].

Згідно розробленим прогнозам у цій Стратегії при загальному виробництві електроенергії у 2030 р. (базовий сценарій) обсягом 420,1 млрд кВт-год АЕС вироблятимуть 219 млрд кВт-год (52 %), а ТЕС – 180,4 млрд кВт-год (43 %). Встановлена потужність АЕС зросте до 29,5 млн кВт та ТЕС – до 47,3 млн кВт. Загальна встановлена потужність електростанцій України зросте від нинішніх 52,7 до 88,5 млн кВт у 2030 р. Відповідно до песимістичного сценарію за даними програми Енергетичної стратегії України з модернізації та розвитку національної енергетики була встановлена потужність АЕС для рівня 2030 р., яка складатиме 20 млн кВт, а виробництво електроенергії на них – 150,8 млрд кВт-год [16].

Проте, на енергоринку в останні роки, як відмічали фахівці, спостерігалися кризові явища внаслідок системних помилок. Як відзначають експерти центра Разумкова йде про кризу державного управління енергетикою, коли «напередодні опалювального сезону 2021–2022 рр. український енергетичний комплекс зіткнувся з одним із найбільших викликів, що мали місце будь-коли протягом усіх тридцяти років існування суверенної української держави» [24]. В цей період спостерігалися дуже низькі запаси вугілля на складах ТЕС, недостатні обсяги накопичення природного газу в підземних сховищах газу (ПСГ), високий рівень зносу інфраструктури та безпрецедентну фінансову кризу на ринку електричної енергії, що зачепила практично усі базові підприємства галузі. З 23 енергоблоків на державних ТЕС компанії ПАТ «Центренерго» працювали лише 3.

Різко зросла заборгованість. Так, загальний борг між учасниками нового ринку електричної енергії станом на 1 листопада 2021 р. досяг 54,5 млрд. грн., борг НЕК «Укренерго» гарантованим покупцям складав 32,8 млрд. грн., а перед учасниками балансуєного ринку – 10,9 млрд. грн. Борг перед НЕК «Укренерго» за небаланси становив 11,542 млрд. грн. [5].

Крім того, фахівці вказують на суттєві недоліки існуючої моделі ринку електричної енергії, що проявлялося як впровадження регуляторних цінових обмежень та постійних змін правил торгівлі, ручним керуванням, непрозорістю ціноутворення, тощо [2, 13, 22]. Наприклад, оптові ціни на електроенергію в Україні у 2021 р. були нижчими від європейських у 2–3 рази. Так, у середині травня 2021р. ціна в Об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України знизилася до €23/МВт, проте у Польщі, Угорщині, Словаччині і Румунії відповідна ціна складала €70–72/МВт [13]. Війна РФ проти України ще значною мірою ускладнила ситуації в енергетичній сфері, завдав суттєве пошкодження потужності багатьох енергетичних компаній, порушення режиму праці, енергопостачання, різкого зростання техногенних ризиків, тощо [20].

В останній період на час війни енергетична сфера в Україні зазнала правових змін в регулюванні її діяльності. Так, у сфері енергетики з 24-го лютого 2022 року було запроваджено ряд регуляторних змін, покликаних стабілізувати галузь та вирішити критичні проблеми [5, 20].

Насамперед, зміни торкнулися експорту електричної енергії. З березня 2022 року Енергетична Система Континентальної Європи та Об'єднана енергетична системи (далі – ОЕС) України працюють синхронно. Наприкінці червня розпочалися комерційні продажі електроенергії до країн ЄС (Румунія, Словаччина) на рівні 100 МВт. З кінця липня обсяг було збільшено до 250 МВт та додатково до експорту 210 МВт у Польщу [5].

Далі йдеться про аитання зберігання електричної енергії та підлягає ліцензуванню. Крім того, визначено покладення спеціальних обов'язків на ринку електричної енергії, так до 31 жовтня 2022 р. продовжено дію фіксованих цін за 1 кВт-год електричної енергії для побутових споживачі на рівні 1,44 грн. (обсяг споживання до 250 кВт-год) та 1,68 грн (понад 250 кВт-год). Введено й інші системні зміни щодо регулювання на ринку електричної енергії [5].

Таким чином, враховуючи суттєві зміни у енергетичній сфері України, нестабільність зовнішнього та внутрішнього соціально-економічного й політичного середовища, виклики за загрози, пов'язані з війною, слід розробити актуальні моделі щодо аналізу динаміки та прогнозування основних показників енергетичної галузі країни. У цій роботі було досліджено сферу електроенергетики, яка має суттєвий вклад в функціонування енергетичної галузі України. Діяльність у сфері електроенергетики є також важливою й для компанії ETG.UA, яка є незалежним провайдером та здійснює закупівлю газу та електроенергії [13]. Свою стратегію на ринку компанія ETG.UA повинна розробляти і відповідності до основних тенденцій енергетичного ринку, зокрема ринку електроенергії, раціональної цінової та збутової стратегії, окремих правил регулювання на ринку електроенергії та відповідних обмежень, дій конкурентів.

При розробці стратегії компанії на ринку електроенергії та визначення ситуації у електроенергетичній галузі слід використовувати широкі можливості економіко-математичних методів та моделей. Отже при розробці довгострокових моделей прогнозування використовують різноманітні методи аналізу часових рядів та економетричні моделі.

У даній роботі використано саме такий підхід. У якості даних були використані дані Державної служби статистики України [6] щодо основних показників виробництва, експорту та імпорту й споживання електричної енергії в Україні.

Динаміка виробництва електроенергії в Україні (ГВт-год) за період 1990-2020 рр. приведена на рис. 1.

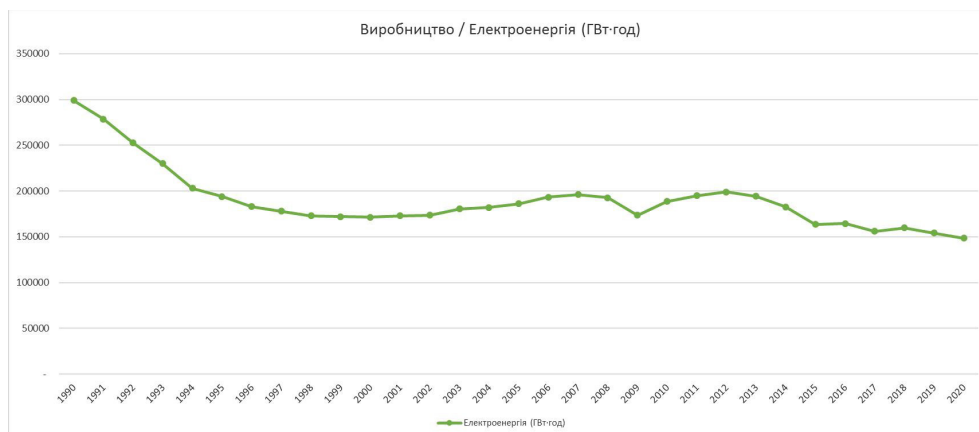


Рис. 1. Динаміка виробництва електроенергії в Україні, ГВт-год,  
 Джерело: Державна служба статистики України [6]

Як видно з графіку, приведеного на рис. 1, за період з 1990 р. по 1994 р. відбулося значне падіння обсягів виробництва електроенергії в Україні. Це було обумовлено, насамперед, впливом системної кризи початку 90х років після розпаду СРСР та початком значних структурних змін в політичному й економічному просторі України, багато промислових підприємств в цей період не працювало, борги, у тому числі за використану електроенергію у промисловому та побутовому секторах були дуже великими, частина підприємств електроенергетики перебувала у кризовому стані або було банкрутами, окремі підприємства було приватизовано. Отже всі ці фактори сприяли значному скороченню обсягів виробництва електроенергії за період 1990-1994 рр. Далі зменшення обсягів виробництва електроенергії в Україні продовжувалося, але вже не такими великими темпами (рис. 1). Протягом 2005-2008 рр. навіть відбулося деяке збільшення обсягів виробництва електроенергії, й обсяги виробництва досягли рівня 1994 р., проте у 2009 р. спостерігалися негативні наслідки впливу глобальної фінансово-економічної кризи у світі, яка частково торкнулася й України. Але вже у 2010 р. обсяги виробництва електроенергії в Україні збільшилися й стабілізувалися протягом 2011-2012 рр. Але знову за період 2013-2020 рр. відбувалося постійне скорочення обсягів виробництва електроенергії, що видно на рис.1.

Враховуючи, що представлена динаміка показника обсягів виробництва електроенергії за досить тривалий період часу, з 1990 р. по 2020 р., тобто за 31 рік, для моделювання значень показника обсягів виробництва електроенергії можна використовувати модель часового ряду, а саме модель Бокса-Дженкінса або ARIMA.

Оскільки часовий ряд, який представляє значення обсягів виробництва електроенергії не є стаціонарним, то для перетворення його у стаціонарний було використано перші різниці. При специфікації моделі також були використано перші лаги  $p(1)$  та ковзку середню з лагом у один період  $q(1)$ .

Результати оцінки параметрів для моделі ARIMA для показника значення обсягів виробництва електроенергії представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика моделі ARIMA (1,1,1) для показника значення обсягів виробництва електроенергії в Україні

Input: ProdElect (Spreadsheet1) Transformations: D(1) Model:(1,1,1)						
Складові ARIMA	Оцінка параметру	Стандартне відхилення	Критерій Стюдента	Значення p	Нижня границя оцінки параметру	Верхня границя оцінки параметру
	Param.	Asympt.Std.	Asympt. t-criterion	p- value	Lower Boundary of Est.	Upper Boundary of Est.
Складові ARIMA Constant (Константа)	-20294,4	9540,561	-2,12717	0,042690	-39870,0	-718,767
$p(1)$	0,9985	0,065	15,36154	0,000000	0,8	1,117
$q(1)$	0,5001	0,192	2,71409	0,011435	0,1	0,915

Джерело: побудовано авторами у пакеті Statistica

Отже, з даних, приведених у табл. 1 видно, що всі оцінки параметрів моделі є статистично значимими при  $p < 0,05$ . Тобто побудовану модель можна використовувати для прогнозу на окремий часовий період.

На рис. 2 представлено прогноз показників обсягів виробництва електроенергії на період з 2021 р. по 2025 р. згідно нейтрального, оптимістичного та песимістичного сценаріїв.

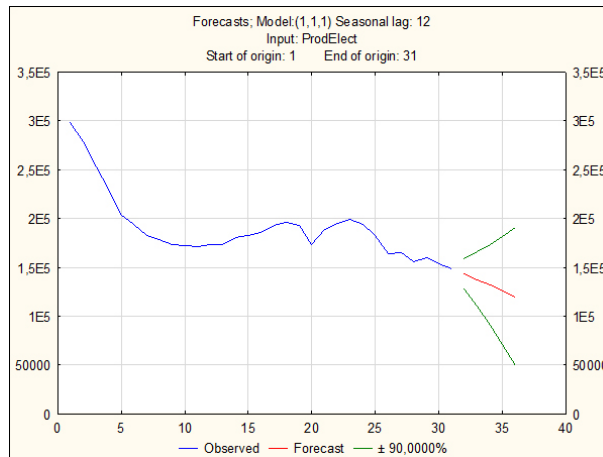


Рис. 2. Прогноз показників обсягів виробництва електроенергії на період з 2021 р. по 2025 р. згідно нейтрального, оптимістичного та песимістичного сценаріїв  
Джерело: побудовано авторами у пакеті Statistica

У таблиці 2 подано результати прогнозу обсягів виробництва електроенергії в Україні на період 2021-2025 рр.

Таблиця 2. Результати прогнозів обсягів виробництва електроенергії на період 2021-2025 рр. відповідно до різних сценаріїв

Рік	Значення часової змінної T	Прогноз (нейтральний сценарій)	Нижня границя прогнозу (песимістичний)	Верхня границя прогнозу (оптимістичний)	Стандартна похибка прогнозу
		Forecast	Lower	Upper	Std.Err.
2021	32	143165,9	127398,9	158932,8	9256,75
2022	33	137675,8	109747,8	165603,8	16396,52
2023	34	131935,6	90791,7	173079,4	24155,54
2024	35	125949,5	70445,7	181453,4	32586,28
2025	36	119721,8	48784,0	190659,6	41647,56

Джерело: побудовано авторами у пакеті Statistica

На нашу думку, зважаючи на непросту ситуацію у галузі, зовнішні виклики, ризики та загрози, слід брати до уваги песимістичний та нейтральний сценарії прогнозу. Окрім аналізу можливих напрямків розвитку траєкторії виробництва електроенергії в Україні, слід також враховувати можливі тенденції експорту та імпорту електроенергії.

На рис.3 приведено тенденції імпорту та експорту електроенергії в Україні за період 1990-2020 рр.



Рис.3. Динаміка імпорту та експорту електроенергії в Україні, ГВт·год  
 Джерело: Побудовано авторами за даними Державної служби статистики України [6]

Як видно з представленого графіку на рис. 3, обидві тенденції демонстрували зменшення значень показників у часі, але протягом періоду 1990-1996 рр. особливо драматичне зменшення показників спостерігалось саме для показників експорту. Це також можна пояснити вкрай негативним впливом економічної кризи після розпаду СРСР та розривом економічних зв'язків з колишніми традиційними споживачами за межами України. Також слід визначити й дію економічних циклів, що видно на графіку на рис. 3 у вигляді короткострокових хвиль зростання та падіння показників імпорту та експорту електроенергії.

Слід визначити, що тенденції імпорту та експорту електроенергії сильно корельовані, коефіцієнт кореляції складає 0,78. Тобто можна припустити, що однакові фактори, що визначають кон'юнктуру на ринку постачання електроенергії мали вплив й на динаміку експорту, й на динаміку імпорту.

Для аналізу тенденцій експорту та імпорту електроенергії в Україні доцільно використовувати функціональні залежності у часі.

Так, для відображення тенденції експорту електроенергії була використана модель експоненційного тренду з від'ємною оцінкою параметру  $a_1$  при часовій змінній  $t$ . Оцінки параметрів цього тренду та інші характеристики моделі представлено у табл. 3.

Таблиця 3. Характеристика моделі експоненційного тренду для показника експорту електроенергії в Україні

Model is: $Export=a_0*exp(a_1*t)$ (Spreadsheet6) Dep. Var. : Export Level of confidence: 95,0% ( $\alpha=0.050$ ) F value 202,149606, $p<0,000001$ Proportion of variance accounted for: 0,87802795 R =0,93703146						
Параметри	Оцінка параметру	Стандартне відхилення	Критерій Стьюдента	Значення р	Нижня границя оцінки параметру	Верхня границя оцінки параметру
	Estimate	Standard	t-value	p-value	Lo. Conf	Up. Conf
a0	18808,54	1252,513	15,01664	0,000000	16246,86	21370,21
a1	-0,13	0,013	-9,89601	0,000000	-0,15	-0,10

Джерело: побудовано авторами у пакеті Statistica

На рис. 4 приведено графік реальних даних та експоненційного тренду, який було побудовано для цих даних. Як видно з представленої у табл. 3 моделі тренду та рис. 4, ця модель досить добре відображує динаміку реальних даних. Тобто може бути використана для аналізу й прогнозу, про що також свідчить коефіцієнт детермінації, який складає 0,87.

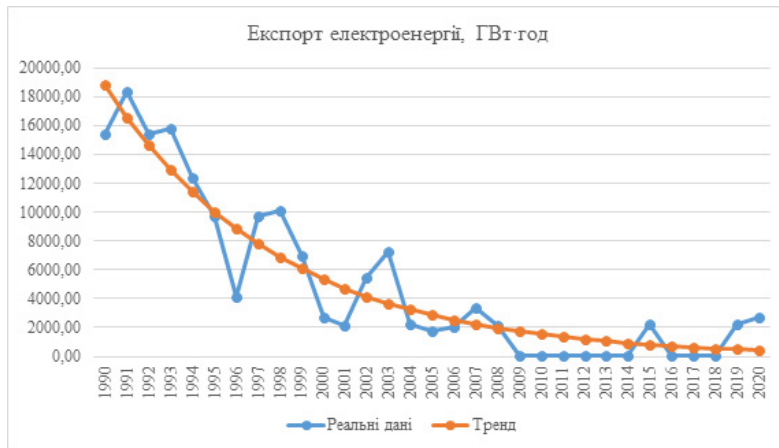


Рис.4. Динаміка експорту електроенергії в Україні та модель тренду, ГВт-год.  
Джерело: Побудовано авторами

На основі цієї моделі було побудовано прогнози за різними сценаріями: нейтральний сценарій (точковий прогноз за моделлю експоненційного тренду), песимістичний сценарій (прогноз за моделлю тренду з урахуванням нижньої границі) та оптимістичний сценарій (прогноз за моделлю експоненційного тренду з урахуванням верхньої границі прогнозу).

Таблиця 4. Прогнози динаміки експорту електроенергії в Україні за різними сценаріями (ГВт-год)

Рік	Часова змінна	Точковий прогноз	Нижня границя прогнозу	Верхня границя прогнозу
	T	Нейтральний сценарій	Песимістичний сценарій	Оптимістичний сценарій
2021	31	384,8669	148,8149	976,8837
2022	32	339,4886	127,9089	884,3377
2023	33	299,4608	109,9397	800,5592
2024	34	264,1524	94,495	724,7174
2025	35	233,0072	81,21999	656,0607

Джерело: Побудовано авторами



При побудові середньострокових та довгострокових прогнозів слід враховувати й характер випадкової змінної, яка може мати циклічний характер.

На рис. 5 зображені дані щодо дії випадкової змінної для показників експорту електроенергії, які розраховується як залишки між реальними даними експорту електроенергії та значеннями, розрахованими за моделлю тренду.



Рис.5. Динаміка випадкової складової експорту електроенергії в Україні, ГВт-год  
Джерело: Побудовано авторами

Для аналізу випадкової змінної експорту нами було обрано модель експоненційного згладжування з використанням лагу у три часових періодів та аддитивної циклічної складової, яка за результатами обчислень становила:  $S1 = -273,489$ ;  $S2 = 401,941$ ;  $S3 = -128,452$ .

У табл. 5 приведено характеристики цієї моделі та результати прогнозу. Отже видно, що середня абсолютна процентна похибка менш за 5%, тобто модель може бути використано для прогнозу.

На нашу думку, використання таких моделей для аналізу й прогнозування циклічної випадкової змінної мусить бути застосовано у випадках, коли зовнішнє соціально-економічне й політичне середовище є нестабільним й треба враховувати не лише детерміновані складові, такі як тренд, а й випадкові складові, які мають суттєвий вплив.

Таблиця 5. Прогнози для випадкової складової експорту електроенергії та верхньої границя прогнозу з урахуванням експоненційного тренду та випадкової змінної в Україні (ГВт-год)

Характеристика моделі	Значення	Рік	T	Прогноз		
				Випадкова складова, ГВт-год	Верхня границя прогнозу з урахуванням експоненційного тренду та випадкової змінної, ГВт-год	
Параметри моделі	S0	-132,1	2021	31	-528,746	448,1373
	$\alpha$	0,00	2022	32	1743,369	2627,707
	$\delta$	1,00	2023	33	2283,489	3084,048
Показники похибки	Mean error	125,6	2024	34	-528,746	195,9711
	Mean abs. perc. error	4,76	2025	35	1743,369	2399,43

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Далі було проведено аналіз та моделювання динаміки імпорту електроенергії в Україні.

Так, для відображення тенденції імпорту електроенергії була використана модель поліноміального тренду 4-го ступеня при часовій змінній  $t$ . Оцінки параметрів цього тренду та інші характеристики моделі представлено у табл. 6.

Таблиця 6. Характеристика моделі поліноміального тренду для показника імпорту електроенергії в Україні

Параметри поліноміального тренду	Оцінки параметрів	Стандартне відхилення	Критерій Стьюдента	Значення $p$	Нижня границя оцінки параметру	Верхня границя оцінки параметру
	Estimate	Standard Dev.	t-value	p-value	Lo. Conf	Up. Conf
$a_0$ (Константа)	41195,2	2089,860	19,7120	0,000000	36899,4	45490,98
$a_1$	-10234,9	999,066	-10,2445	0,000000	-12288,5	-8181,29
$a_2$	1065,5	138,722	7,6805	0,000000	780,3	1350,60
$a_3$	-44,3	7,003	-6,3194	0,000001	-58,6	-29,86
$a_4$	0,6	0,116	5,4288	0,000011	0,4	0,87

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Як видно з результатів табл.6, оцінки параметрів моделі є статистично значимими при рівні  $p < 0,001$ . Коефіцієнт детермінації для цієї моделі дорівнює 0,906. Тобто побудована модель може бути використана для аналізу й прогнозів тенденції імпорту електроенергії в Україні.

На рис. 6 приведено графік реальних даних та поліноміального тренду, який біло побудовано для даних імпорту з урахуванням припущення, що внаслідок дії несприятливих факторів та нестабільності зовнішнього середовища, потреба у імпорті електроенергії буде зростати.

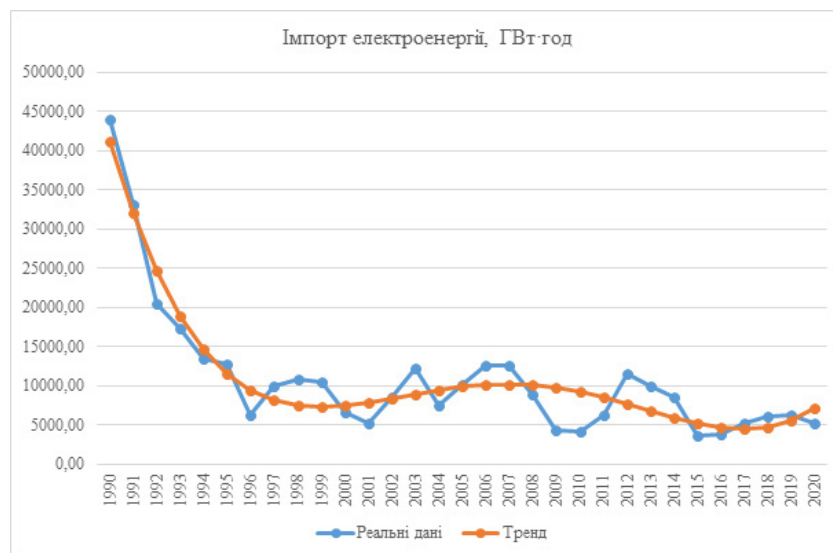


Рис.6. Динаміка імпорту електроенергії в Україні та модель тренду, ГВт·год

Джерело: Побудовано авторами

Як видно з рис. 6, ця модель досить добре відображує динаміку реальних даних імпорту електроенергії.

На основі цієї моделі було побудовано прогноз імпорту за різними сценаріями: нейтральний сценарій (точковий прогноз за моделлю поліноміального тренду) та визначено випадкову складову імпорту (рис. 7).



Рис.7. Динаміка випадкової складової імпорту електроенергії в Україні, ГВт·год  
 Джерело: Побудовано авторами

Для аналізу випадкової змінної імпорту нами було обрано модель експоненційного згладжування з використанням лагу у три часових періодів та аддитивної циклічної складової, яка за результатами обчислень становила:  $S1 = -67,353$ ;  $S2 = 388,440$ ;  $S3 = -321,086$ .

У табл. 7 приведено характеристики цієї моделі та результати прогнозу. Отже видно, що середня абсолютна процентна похибка трохи більша за 5%, тобто модель може бути використано для прогнозу.

Слід зазначити, що використання моделей часових рядів та побудова прогнозів за цими моделями має й ряд недоліків. А саме, не враховуються окремі факторні ознаки (чинники), які можуть мати суттєвий вплив на формування показника, який досліджується.

Тому, нами було побудовано й багатофакторну економетричну модель, характеристика якої представлена у табл. 8.

У якості залежної змінної було використано темп зміни випуску електроенергії в Україні, у якості факторних ознак було використано – темпи зміни імпорту, темп зміни експорту та темп зміни внутрішнього споживання електроенергії. Завдяки використанню моделі у темповому вигляді вдалося уникнути проблему колінеарності вихідних початкових змінних, яке б могло з урахуванням однаково спрямованих трендів призвести до ефекту невірної регресії.

Таблиця 7. Прогнози для випадкової складової імпорту електроенергії та прогнозу з урахуванням поліноміального тренду та випадкової змінної в Україні (ГВт-год)

Характеристика моделі	Значення	Рік	T	Прогноз			
				Випадкова складова, ГВт-год	Прогноз імпорту за результатами тренду, ГВт-год	Прогноз імпорту з тренду та випадкової змінної, ГВт-год	
Параметри моделі	SO	68,40	2021	31	456,836	9772,219	10229,054
	$\alpha$	0,00	2022	32	-252,691	13500,38	13247,686
	$\delta$	0,0001	2023	33	1,042	18585,68	18586,725
Показники похибки	Mean error	-66,222	2024	34	456,836	25252,77	25709,601
	Mean abs. perc. error	5,701	2025	35	-252,691	33741,34	33488,646

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Таблиця 8. Характеристика багатофакторної економетричної для показника виробництва електроенергії в Україні

Regression Summary for Dependent Variable: tauv (Spreadsheet6) R= 0,97061820 R-squared= 0,94209969 F(3,26)=141,02 p<.00000 Std.Error of estimate: ,01262							
Фактори в екон. моделі	Умовні познач.	Оцінки параметрів у станд. моделі	Станд. відхилення у станд. моделі	Оцінки параметрів у моделі	Станд. відхилення у моделі	Критерій Стьюдента	Значення р
		b*	Std.Err.	b	Std.Err.	t(26)	p-value
Константа	Intercept			-0,001049	0,00262	-0,39976	0,69259
Темп зміни імпорту	tau1	-0,06492	0,04736	-0,000244	0,00017	-1,37086	0,18213
Темп зміни експорту	tau2	0,172958	0,05178	0,023342	0,00698	3,34018	0,00254
Темп зміни внутр. споживання	tau3	0,878786	0,05190	1,025020	0,06054	16,93112	0,00000

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Як видно з даних табл. 8, багатофакторна економетрична модель має статистично значимі оцінки параметрів при змінних tau2 (Темп зміни експорту) та tau3 (Темп зміни внутрішнього споживання).

Оцінка параметру моделі при змінній tau1 (Темп зміни імпорту) не є статистично значимою, проте є від'ємною, тобто очікування збільшення імпорту та додатні темпи зміни цього показника будуть призводити до зниження темпу власного виробництва електроенергії. Але, слід зазначити, що оцінка параметру при змінній tau1 (Темп зміни імпорту) є близькою до 0, тобто вплив цієї змінної на динаміку власного виробництва електроенергії буде незначним.

Втім, оцінки параметрів при змінних tau2 (Темп зміни експорту) та tau3 (Темп зміни внутрішнього споживання) є додатними та статистично значимими, тобто приріст очікуваних показників експорту та внутрішнього споживання будуть стимулювати процеси власного виробництва електроенергії в Україні. Слід також зазначити, що оцінка параметру при змінній tau3 (Темп зміни внутрішнього споживання) трохи більша за 1, тобто можна спостерігати навіть невеликий

мультиплікативний ефект від зростання показника внутрішнього споживання, тобто він є основним стимулятором збільшення власного випуску електроенергії. Отже, слід розглянути динаміку показника, що характеризував внутрішнє споживання в Україні.

Динаміка внутрішнього споживання електроенергії в Україні (ГВт·год) за період 1990-2020 рр. приведена на рис. 8.



Рис. 8. Динаміка внутрішнього споживання електроенергії в Україні, ГВт·год  
 Джерело: Побудовано авторами за даними Державної служби статистики України [6]

Як видно з представленого на рис. 8 графіку, протягом останніх 30-ти років внутрішнє споживання електроенергії в Україні також мало тенденцію до зниження.

Для аналізу причин зниження внутрішнього споживання електроенергії в Україні слід детально вивчити його структуру. Внутрішнє споживання електроенергії складається з показників власного споживання електроенергії енергетичним сектором, а також споживанням електроенергії в таких секторах економіки, як промисловість, транспорт, інші сектори (Побутовий сектор, Торгівля та послуги, Сільське господарство) та неенергетичне використання.

Динаміка структури внутрішнього споживання електроенергії за різними секторами в Україні (ГВт·год) за період 1990-2020 рр. приведена на рис. 9.

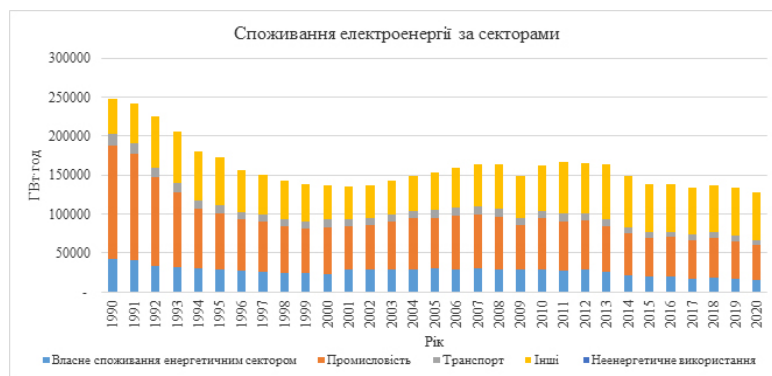


Рис.9. Динаміка споживання електроенергії в Україні різними секторами, ГВт·год  
 Джерело: Державна служба статистики України [6]

Слід зазначити, що частка власного споживання електроенергії енергетичним сектором від внутрішнього постачання електроенергії достатньо стабільна й коливається у межах від 10% до 17%, середнє значення складає 14,5%. Коефіцієнт варіації менш 15%, тобто при моделюванні прогнозних значень цього показника можна використовувати розрахунки нижньої та верхньої границі середнього вибіркового значення або правило трьох сигм, якщо слід визначити нижні та верхні довірчі інтервали для цієї вибірки.

Для моделювання динаміки споживання електроенергії у промисловості було обрано поліном 5-го ступеня, який відображує циклічну тенденцію зміни цього показника у часі.

Оцінки параметрів цього тренду та інші характеристики моделі представлено у табл. 9.

Таблиця 9. Характеристика моделі поліноміального тренду для показника споживання електроенергії у промисловості в Україні

Параметри поліноміального тренду	Оцінки параметрів	Стандартне відхилення	Критерій Стюдента	Значення $p$	Нижня границя оцінки параметру	Верхня границя оцінки параметру
	Estimate	Standard Dev.	t-value	p-value	Lo. Conf	Up. Conf
$a_0$ (Константа)	151836,2	3189,242	47,6089	0,000000	145267,9	158404,6
$a_1$	-25369,2	2271,436	-11,1688	0,000000	-30047,3	-20691,1
$a_2$	2305,5	489,054	4,7143	0,000078	1298,3	3312,8
$a_3$	-75,5	42,088	-1,7944	0,084857	-162,2	11,2
$a_4$	0,4	1,556	0,2421	0,810713	-2,8	3,6
$a_5$	0,01251	0,021	0,6323	0,595714	0,0	0,1

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Як видно з результатів табл.9, оцінки параметрів моделі  $a_0$ ,  $a_1$  та  $a_2$  є статистично значимими при рівні  $p < 0,001$ , оцінка параметру  $a_3$  є статистично значимою при рівні  $p < 0,1$ . Коефіцієнт детермінації для цієї моделі дорівнює 0,978. Тобто побудована модель може бути використана для аналізу й прогнозів тенденції споживання електроенергії у промисловості в Україні.

На рис. 10 представлено реальні дані динаміки споживання електроенергії у промисловості в Україні, модельні значення за поліноміальним трендом та прогноз цих показників на період з 2021 р. по 2025 р.

Отже, можливе поступове зростання показника споживання електроенергії у промисловості в Україні з 2022 р. і далі внаслідок збільшення енергетичних потреб промисловості, відновлювання зруйнованої та застарілої матеріальної бази різних секторів економіки, збільшення виробництва у сфері машинобудування, зокрема оборонної продукції, у сфері будівництва, наприклад, відновлення житлової інфраструктури, заміни та ремонту обладнання, доріг, елементів транспортної та соціальної інфраструктури, тощо.

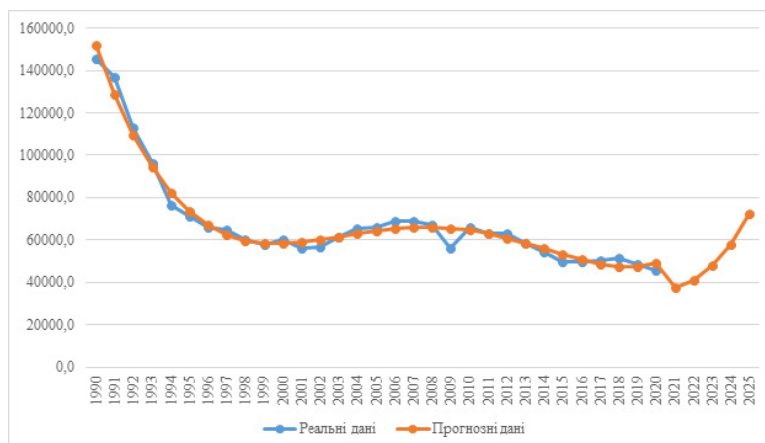


Рис.10. Динаміка споживання електроенергії у промисловості в Україні, модель тренду та прогнозні дані, ГВт-год. Джерело: Побудовано авторами

Частка споживання електроенергії транспортним сектором від внутрішнього постачання електроенергії теж достатньо стабільна й коливається у межах від 4 % до 6 %, середнє значення складає 5,1%. Коефіцієнт варіації менш 10%, тобто при моделюванні прогнозних значень цього показника можна використовувати розрахунки нижньої та верхньої границі середнього вибіркового значення або правило трьох сигм, якщо слід визначити нижні та верхні довірчі інтервали для цієї вибірки.

Для моделювання динаміки споживання електроенергії у інших секторах (Побутовий сектор, Торгівля та послуги, Сільське господарство) було обрано поліном 5-го ступеня, який відображує циклічну тенденцію зміни цього показника у часі.

Оцінки параметрів цього тренду та інші характеристики моделі представлено у табл. 10.

Таблиця 10. Характеристика моделі поліноміального тренду для показника споживання електроенергії у інших секторах в Україні

Параметри поліноміального тренду	Оцінки параметрів	Стандартне відхилення	Критерій Стюдента	Значення p	Нижня границя оцінки параметру	Верхня границя оцінки параметру
	Estimate	Standard Dev.	t-value	p-value	Lo. Conf	Up. Conf
a0 (Константа)	44188,33	2038,823	21,6735	0,000000	39989,29	48387,36
a1	15017,70	1452,086	10,3422	0,000000	12027,07	18008,33
a2	-3655,06	312,643	-11,6909	0,000000	-4298,96	-3011,16
a3	307,54	26,906	11,4300	0,000000	252,12	362,95
a4	-10,56	0,995	-10,6175	0,000000	-12,61	-8,52
a5	0,13	0,013	9,7000	0,000000	0,10	0,16

Джерело: побудовано авторами з використанням пакету Statistica

Як видно з результатів табл.10, оцінки всіх параметрів моделі є статистично значимими при рівні  $p < 0,001$ . Коефіцієнт детермінації для цієї моделі дорівнює 0,929. Тобто побудована модель може бути використана для аналізу й прогнозів тенденції споживання електроенергії у інших секторах в Україні.

На рис. 11 представлено реальні дані динаміки споживання електроенергії у інших секторах економіки в Україні, модельні значення за поліноміальним трендом та прогноз цих показників на період з 2021 р. по 2025 р.

Отже, можливе поступове зростання показника споживання електроенергії і у інших секторах економіки в Україні з 2022 р. і далі внаслідок збільшення використання електроенергії замість газу та інших видів палива, особливо у осінній та зимній періоди, відновлювання торгівлі, сільського господарства, підвищення споживання у побутовому секторі, побудова та ремонтування житла населенням, тощо.

Отже, якщо власного виробництва електроенергії не буде вистачати в найближчий період, то різниця повинна покриватися за рахунок імпорту електроенергії та фінансування програм енергетичного розвитку й відновлення від міжнародних організацій та фондів, спеціальних програм зарубіжних партнерів на підтримку України.

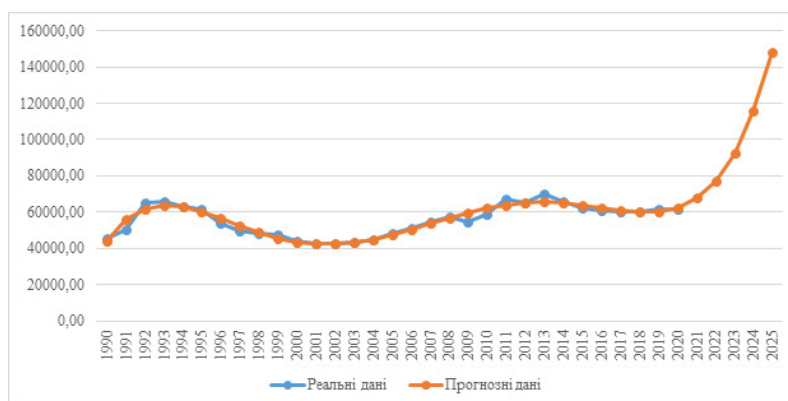


Рис.11. Динаміка споживання електроенергії у інших секторах в Україні, модель тренду та прогнозовані дані, ГВт-год, Джерело: Побудовано авторами

Таким чином, при розробці нової Енергетичної стратегії в Україні та побудові прогнозів на найближчі п'ять років слід враховувати нові реалії тяжкої ситуації в Україні, оцінювати можливість залучення фінансової та матеріально-технічної допомоги від держав країн ЄС, США та інших партнерів, від міжнародних організацій та фондів, тощо.

Сучасне зовнішнє соціально-економічне й політичне середовище в Україні та і інших країнах світу відзначаються нестабільністю, складністю та невизначеністю. Отже повинні бути розроблені моделі прийняття рішень щодо стратегії розвитку енергетичної галузі в Україні з використанням сценарного підходу, можливостей статистичного моделювання для оцінки потенційних ризиків та втрат. Втім слід також враховувати довгострокові тенденції, що склалися у енергетичній галузі протягом останніх тридцяти років, що визначали стан цієї галузі на початок 2022 р.



Розроблені у цій роботі моделі та прогнози базуються на вивченні даних часових рядів для основних показників електроенергетичної галузі й можуть бути застосовані при розробці окремих елементів нової Енергетичної стратегії України в умовах нестабільного зовнішнього соціально-економічного й політичного середовища в Україні.

Також розроблені моделі й прогнози будуть корисними для компаній-провайдерів, таких як ETG.UA та інші, що працюють на ринку електроенергії та повинні розробляти свої власні стратегії щодо постачання електроенергії своїм споживачам, клієнтам та партнерам.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Архангельский Ю.: Деякі питання структурної перебудови економіки України. Економіка України 2010. № 9, С. 26–33.
- [2] Білявський М.: Аналіз системних помилок енергоринку (на прикладі балансуєчого сегменту), Разумков Центр, 12 травня 2021 р. Available at: <https://cutt.ly/J1cEc7D>
- [3] Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Інформаційно – аналітичний бюлетень «Відомості Міністерства палива та енергетики України». Спеціальний випуск 2006.
- [4] Євтушевський В., Кочедикова А.: Фактори формування енергетичної безпеки України. Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Г. Шевченка. Економіка. Вип. 107–108. К. : ВПЦ «Київський університет», 2009. С. 15–17.
- [5] Гутаревич Н.: Енергетика під час війни в Україні: які зміни в регулюванні? Liga 360. 11.08.2022. Available at: [www.cutt.ly/G1cERJW](http://www.cutt.ly/G1cERJW)
- [6] Державна служба статистики України. Available at: [www.ukrstat.gov.ua/](http://www.ukrstat.gov.ua/)
- [7] Іванов Г.А., Білов І.В., Парус Є.В.: Комплексна розрахункова модель ринку на добу наперед та балансуєчого ринку електроенергії України. Промелектро 2016. № 4-5, С. 8–12.
- [8] Куцан Ю.Г., Білов І.В., Іванов Г.А.: Моделювання тарифо- та ціноутворення на роздрібному ринку електричної енергії України в нових умовах функціонування. Електронне моделювання 2017. № 5, С. 71–79.
- [9] Майснер Ф., Уеккерт Ф.: Розбудова відновлюваної енергетики в Україні: Потенціал, перепони та рекомендації політиків. Берлін 2010, С. 33.
- [10] Майснер Ф., Уеккерт Ф.: Роль відновлюваної енергетики в Україні. Матеріали групи німецьких радників. Випуск 27. Листопад 2010.
- [11] Мониторинг журналу Энергобизнес №46, 16 ноября 2021; Диспетчерська інформація «Стан блоків ТЕС та АЕС» — НЕК «Укренерго», 17 листопада 2021 р. Available at: [www.ua.energy/blocks/](http://www.ua.energy/blocks/)
- [12] Несторенко Т.П.: Інфраструктура города в контексте его конкурентоспособности. 36. наукових праць (Миколаїв), вип.59 «Економічні науки», Чорноморський державний університет імені Петра Могили, т.72. 2007, С.70-76. Available at: <https://cutt.ly/51cEBND>
- [13] Омельченко В.: Базові причини енергетичної кризи в ОЗП 2021–2022 рр. Разумков Центр. 24.11.2021. Available at: [www.cutt.ly/51cRqKY](http://www.cutt.ly/51cRqKY)
- [14] Постанова НКРЕКП «Про затвердження ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку». №308 від 14.03.2018.
- [15] Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017. №2019-VIII.
- [16] Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року: КМ України. Available at: [www.cutt.ly/81cRaCY](http://www.cutt.ly/81cRaCY)
- [17] Проблеми розвитку енергетики України. Вісн. НАН України, 2006. № 2, С. 3–6.
- [18] Розенбергер К.: Політика України в галузі енергетики. KAS Paper. Київ, 2012.
- [19] Стогній Б., Кулик М.: Загальні проблеми та довгострокові перспективи розвитку енергетики в Україні. Наука та інновації 2006.Т 2. № 2, С. 5–18.
- [20] Ткач Д., Грушко В.: Електроенергетика України під час українсько-російської війни. Вчені

записки Університету «КРОК» 2022. No2(66), С. 64-72.

[21] Халатов А.: Энергетика України: сучасний стан й найближчі перспективи. Вісн. НАН України 2016. № 6, С. 53-61.

[22] Чекунова С.: Удосконалення діючої моделі оптового ринку електричної енергії, Центр Разумкова, 2021. Available at: [www.cutt.ly/B1cEeZW](http://www.cutt.ly/B1cEeZW)

[23] Ярчак В.: Про екологічний ризик джерел підвищеної екологічної небезпеки. Вісник Львів. ун-ту. Серія юрид. 2009, Вип. 48, С. 209-215.

[24] Etg.ua. Available at: [www.etg.ua/](http://www.etg.ua/)

[25] Nestorenko T., Morkunas M., Peliova J., Volkov A., Balezentis T., Streimkiene D.: A New Model for Determining the EOQ under Changing Price Parameters and Reordering Time. Symmetry 2020. 12, 1512. Available at: [www.mdpi.com/2073-8994/12/9/1512](http://www.mdpi.com/2073-8994/12/9/1512)

[26] Nestorenko T., Nestorenko O., Morkūnas M., Volkov A., Baležentis T., Štreimikienė D., Cai J.: Optimization of Production Decisions Under Resource Constraints and Community Priorities. Journal of Global Information Management 2022. Vol. 30, Iss. 12, pp. 1-24. DOI: 10.4018/JGIM.304066. [www.cutt.ly/BjuAo7U](http://www.cutt.ly/BjuAo7U)

[27] Nestorenko T., Tokarenko O., Kolmakova O.: Entrepreneurship in Eastern Ukraine: development in the context of armed conflict and the Covid-19 pandemic. International Relations 2021: Current issues of world economy and politics. Proceedings of scientific works from the 22nd International Scientific Conference 2nd – 3rd December 2021, pp. 510-517. Available at: [www.cutt.ly/DHUw2WV](http://www.cutt.ly/DHUw2WV)

## MODELING THE NEEDS OF DOMESTIC MARKETS FOR THE PROVISION OF ELECTRICITY IN THE CONDITIONS OF AN UNSTABLE EXTERNAL SOCIO-ECONOMIC AND POLITICAL ENVIRONMENT IN UKRAINE

### ABSTRACT

The article considers the problems of the energy industry in Ukraine, the causes and consequences of crisis phenomena, due to the influence of an unstable external socio-economic and political environment and imperfect decisions regarding reform and prospects for the development of the industry. Special attention was paid to the analysis of electricity, as one of the most important components of the energy industry in Ukraine. The models and forecasts developed in this work are based on the study of time series data for the main indicators of the electric power industry and can be applied in the development of individual elements of the new Energy Strategy of Ukraine in the conditions of an unstable external socio-economic and political environment in Ukraine.

### KEYWORDS

energy industry, strategy, unstable external environment, modeling

## MODELOWANIE POTRZEB KRAJOWYCH RYNKÓW ZAOPATRZENIA W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ, W WARUNKACH NIESTABILNEGO ZEWNĘTRZNEGO OTOCZENIA SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO I POLITYCZNEGO UKRAINY

### STRESZCZENIE

Artykuł analizuje problemy energetyki na Ukrainie, przyczyny i skutki zjawisk kryzysowych, wywołanych wpływem niestabilnego zewnętrznego otoczenia społeczno-gospodarczego i politycznego oraz niedoskonałych decyzji, dotyczących reformy i perspektyw rozwoju branży. Szczególną uwagę zwrócono na analizę energii elektrycznej, jako jednego z najważniejszych źródeł energetyki na Ukrainie. Modele i prognozy opracowane w tej pracy opierają się na badaniu danych szeregów czasowych dla głównych wskaźników elektroenergetyki i mogą być zastosowane w opracowaniu poszczególnych elementów nowej Strategii Energetycznej Ukrainy, w warunkach niestabilnej sytuacji zewnętrznej środowiska społeczno-gospodarczego i politycznego na Ukrainie.

### SŁOWA KLUCZOWE

energetyka, strategia, niestabilne otoczenie zewnętrzne, modelowanie.



Artykuł udostępniony na licencjach Creative Commons/ Article distributed under the terms of Creative Commons licenses: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0). License available: [www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/](http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)