

# КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 338.5

DOI:10.34229/2707-451X.22.3.7

Е.П. КАРПЕЦЬ, В.М. КУЗЬМЕНКО

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ

Цифровізація та екологізація діяльності національної економіки – це домінуючі трансформаційні тренди, що мали визначати конкурентоспроможність та наближення розвитку до сталого стану. Нині актуальною є задача моніторингу реальної ситуації та визначення резервів запровадження відповідних інновацій. Енергетика – найбільш важлива галузь економіки, що потребує не лише відбудови, а суттєвих інноваційних рішень. Для цього важливим питанням є удосконалення через впровадження сучасних цифрових технологій.

Стан трансформації технологічних процесів у реальному секторі економіки зазвичай оцінюють через реалізацію завдань сталого розвитку за Індексом ефективності переходу до сталого розвитку ЄС 2021 року (Transition Performance Index, TPI-021). Відповідно до рейтингових оцінювань [1, 2].

За показником Індeksu ефективності переходу до сталого розвитку Україна зайняла 64-е місце серед 72 країн світу та 14 місце серед європейських країн – не членів ЄС і Центральної Азії. Якщо за підіндексом соціального переходу вона набрала 70,5 балів (38 місце), увійшовши до групи сильних перехідників, то за іншими трьома підіндексами – менше за їх середні бали – 40,3 бали. Наприклад, 42,7 бали за екологічним переходом (61 місце), 45,7 балів за переходом в управлінні (62 місце). Це свідчить про необхідність подолання перешкод в управлінні ресурсами, зокрема, в енергетиці.

Загалом ситуація в енергетиці за останні роки була спрямована на впровадження, так званих, "зелених" смарт-технологій (смарт-енергомережі, смарт-будівлі, смарт-логістика тощо). За різними дослідженнями лідерами у сфері впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в Україні є такі види економічної діяльності, як переробна промисловість та оптова і роздрібна торгівля, ремонт автотранспортних засобів, на які припадає половина попиту на ІКТ-продукти та послуги [3].

*Наведено методологію застосування математичної моделі та програмних засобів, створених на основі симбіозу традиційного апарату моделі таблиць „витрати-випуск” (ТВВ) та математичної статистики, для оцінки ступеня впливу макроекономічної динаміки в ІТ-індустрії на показники енергетичної сфери економіки.*

**Ключові слова:** економетрична модель таблиць «витрати-випуск» (ТВВ), пряма і двоїста задачі моделі ТВВ, міжгалузеві потоки, види економічної діяльності (ВЕД), регресійний аналіз.

© Е.П. Карпець, В.М. Кузьменко, 2022

Наша мета оцінити ступінь впливу впроваджуваних смарт-технологій в енергетиці на рівень міжгалузевих взаємозв'язків за розробленими алгоритмами економетричної та статичної моделі «витрати-випуск». Нині важливо досліджувати можливі міжгалузеві зміни для коригування макроекономічних сценаріїв розвитку галузі.

Аналіз статистичних даних структурного співвідношення між галузями відновлювальних джерел енергії підтверджує зміну концептуальних підходів на межі 2006 – 2007 рр., коли біопаливна енергетика починає домінувати над гідроенергетикою. Частка вітрової та сонячної енергії значно підвищилась за останнє десятиліття (рис. 1).



РИС. 1. Структурні співвідношення між галузями відновлювальних джерел енергії, % (2000 – 2020 роки).  
Джерело: складено за даними (Державна служба статистики України, 2020-5d)

Розроблені математичні моделі та програмні засоби реалізації макроекономічного прогнозування на основі економетричної моделі таблиць „витрати-випуск”, основані на симбіозі традиційного апарату ТВВ та методів математичної статистики, які дозволяють оцінювати ступінь збалансованості між структурними пропорціями міжгалузевих потоків, а також між окремими видами економічної діяльності та елементами кінцевого споживання. Перевага розробки – поєднання в загальному комплексі математичного апарату статичної прямої і двоїстої моделей „витрати-випуск” з можливостями регресійного аналізу. Такий підхід дозволяє оцінити зміни структурної збалансованості національної економіки за видами економічної діяльності під впливом дестабілізуючих чинників.

З метою оцінки та моніторингу дисбалансних процесів у економіці країни в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено відповідний модельний інструментарій з дослідження виробничих та соціально-економічних процесів за звітними ТВВ та показниками Національних рахунків України, що дозволяє аналізувати та прогнозувати як структурні зрушення в межах проміжного споживання між видами економічної діяльності (ВЕД), так і відповідний вплив таких зрушень на макроекономічні показники, зокрема на обсяг випуску продукції за постійними цінами [4, 5].

**Інформаційна база.** Розрахунки проводяться на основі динамічних рядів, побудованих на статистичних даних, що наводяться у щорічному Бюлетені "Національні рахунки України" та додаткової статистичній інформації про індекси цін та інше.

**Методологічні аспекти реалізації прямої та двоїстої задач моделі ТВВ на базі розроблених програмних засобів.** Відповідно до поставленої задачі алгоритми, що реалізовані у розробленому програмному забезпеченні, дозволяють проводити різні операції з масивами даних для розрахунку матриць прямих і повних матеріальних витрат, використовувати пряму та двоїсту задачі моделі «витрати-випуск» для визначення (оцінки) макроекономічних пропорцій та дослідження індикаторів ефективності економічної діяльності.

Для дослідження структурних змін між макроекономічними показниками попиту та пропозиції у межах національної економіки через урахування пропорційного взаємозв'язку між кінцевим споживанням та відповідним обсягом виробництва було використано 21 матрицю, створених на основі звітних таблиць «витрати-випуск» за 2000 – 2020 роки. Кожна матриця включала 27 агрегованих видів економічної діяльності та три квадранти стандартної структури матриць ТВВ у цінах споживачів. Детальний опис розроблених програмних засобів та їх використання в [6, 7].

На рис. 2 показано приклад агрегованої таблиці.

ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ	ПРОМІЖНЕ СПОЖИВАННЯ																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Сільське, лісове та рибне господарство	1	167424	334	162262	599	10748	7	1271	128	33	751	208	52	195	21652	1168	2611	25	0	10	149
Добування промислових руд	2	6384	27473	21353	383	2632	77151	16714	17640	107629	2713	123874	309	14495	8517	49819	544	4	205	357	
Виробництво харчових продуктів	3	4991	178	53204	15	23	2	191	13	83	71	31	5	18	5507	389	2673	97	3	276	40
Текстильне виробництво	4	226	287	501	5883	535	33	191	272	249	1389	180	30	166	1257	290	247	42	9	103	111
Виготовлення виробів з шкіри та інших матеріалів	5	1240	760	23360	296	28331	40	2867	2564	902	3001	255	361	4149	9319	1628	419	3303	464	567	1164
Виробництво коксуючих брикетів	6	44388	11739	10848	319	1835	3091	4989	6129	63513	3350	4288	1769	12699	18936	44557	437	387	298	1316	1694
Виробництво чавуну та сталі	7	87194	8965	15104	4261	16058	3076	42210	25708	5599	4358	648	509	3664	15674	2243	535	145	23	426	575
Виробництво металургійних виробів з чавуну та сталі	8	6923	3562	33777	645	5184	189	3427	43342	11544	8403	770	1071	51383	8954	9725	364	173	62	1736	4137
Виробництво металургійних виробів з кольорових металів	9	3096	15094	10192	494	2141	408	935	9306	125478	49736	18392	6550	45803	9744	4064	307	139	96	1324	3357
Машинобудування	10	34880	28534	17066	588	3429	631	2572	4846	14420	64938	5397	984	18609	27291	24280	583	2969	2052	3449	3791
Постачання електричної енергії, газу, пари та кондиційно-повітря	11	11561	31023	21542	1171	5349	3055	6498	7791	28068	6683	27601	5456	2230	11281	23008	2592	552	102	41	1259
Водопостачання, каналізація, поховлення з відходами	12	707	533	1418	78	501	38	230	110	1033	270	4343	1506	192	1341	516	236	60	422	1087	495
Будівництво	13	2580	2253	2000	113	706	102	475	1279	773	1175	1159	338	82422	3957	5561	538	403	217	10752	5340
Оптова та роздрібна торгівля, ремонт автотранспортних засобів та мототранспорту	14	94929	38530	220006	21107	10686	61916	70470	24155	39758	99345	1035	1097	8194	113743	12418	240	681	150	2591	2094
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	15	34026	30324	36252	6491	4952	13843	10445	6696	25790	25683	888	1331	1769	35134	36076	565	2321	988	1069	4884
Тимчасове розміщення та харчування	16	171	362	334	21	61	17	89	62	131	464	138	7	183	1879	490	1034	498	61	91	1058
Комп'ютерна програмування та інформаційні послуги	17	339	271	2384	52	732	61	394	290	433	637	494	251	319	11969	2224	273	62070	1109	1188	10322
Фінансова та страхова діяльність	18	6785	4131	6419	254	1086	383	1472	1225	2038	4559	3184	1136	2206	31592	6058	718	3640	24155	5163	3943
Операції з нерухомістю, операції з фінансовими активами та зобов'язаннями	19	1441	2261	9421	233	664	293	1641	854	1223	2109	0	507	0	44718	5226	1379	3422	1685	13606	21004
Послуги юридичним особам	20	7838	8389	10781	308	1552	198	1391	2107	2035	4072	2410	1376	10594	29638	8815	1188	3898	5622	12027	8992
Наукові дослідження та розробки	21	42	274	86	2	36	21	954	13	79	264	127	114	202	369	61	0	350	0	14	665
Діяльність у сфері адміністративних послуг	22	4275	3628	1135	69	480	52	415	1031	938	706	528	1304	1928	3871	13301	958	1589	1508	8334	300
Державне управління та вжиття законодавства	23	741	1754	1474	37	107	267	518	177	386	496	1686	695	270	2592	1167	126	64	244	517	491
Освіта	24	51	110	110	2	19	8	59	23	64	125	119	52	49	375	372	17	85	33	52	637
Охорона здоров'я та соціальне забезпечення	25	134	776	286	8	13	72	160	64	363	187	217	171	215	288	1011	109	151	37	20	92
Мистецтво, спорт, рекреація, культура та розваги	26	33	26	42	0	89	2	9	5	47	208	35	22	10	275	205	131	2049	10	223	643
Надання інших видів діяльності	27	197	388	187	40	40	5	49	44	59	117	207	221	101	2495	454	186	380	419	270	567
<b>ПРОМІЖНЕ СПОЖИВАННЯ</b>		522575	221949	661544	43449	97989	164961	170636	155774	432668	284710	199015	27224	262065	422356	255105	19010	89533	39773	66487	78271

РИС. 2. Фрагмент агрегованої за 27 видами економічної діяльності таблиці «витрати-випуск» за 2017 рік

Алгоритми роботи з таблицями «витрати-випуск» автоматично виконували ряд проміжних розрахунків, проводили аналіз таблиці та створюваних матриць. Розрахунки включали такі етапи:

1) перевірка коректності коефіцієнтів та цілісності даних у таблицях, перевірка виконання балансових рівностей;

2) агрегування рядків та стовпців таблиці «витрати-випуск». Для різних років агрегування проводилося за різними схемами, оскільки у різні роки діяли різні класифікації КВЕД;

3) створення квадратної матриці  $A$  прямих матеріальних витрат розміром  $27 \times 27$ , що описує вартість продукції (послуг) вхідної галузі на виробництво 1 грн. продукції (послуг) вихідної галузі. Перевірка рангу отриманої матриці та можливості розрахунку оберненої матриці;



4) підготовка матриці  $D = (E - A)^{-1}$  для розрахунку повних матеріальних витрат та інших показників, підготовка матриць для розрахунків за прямою та двоїстою задачею моделі «витрати-випуск», а також для дослідження індикаторів ефективності економічної діяльності.

Матриця повних матеріальних витрат  $D$  використовувалася для встановлення класичної пропорції між векторами *обсягів кінцевого використання товарів* (послуг)  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  та обсягів їх виробництва  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  (між попитом та пропозицією товарів і послуг) [6].

**Реалізація оцінки структурних пропорцій в моделі рівноважних цін (двоїстїй задачі ТВВ).** Використання моделі рівноважних цін дозволяє проводити дослідження з оцінки узгодженості *матеріальних витрат на виробництво товарів з показниками ефективності економічної діяльності*, оскільки до показника доданої вартості включені складові, що визначають як ступінь забезпечення соціально-економічних потреб працюючих (оплата праці), так і можливості розширення виробництва (чистий прибуток).

Розрахункова модель має такий вигляд:

$$p^T (E - A^T) = w^T, \quad p \geq 0,$$

де  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  – вектор цін,  $p_i$  – ціна одиниці продукції  $i$ -ї галузі,  $i = 1, \dots, n$ ,  $T$  – знак транспонування;  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  – вектор доданої вартості,  $w_i$  – додана вартість в ціні  $p_i$  одиниці продукції (наданих послуг)  $i$ -ї галузі, що в категоріях моделі ТВВ відповідає «невиробничим витратам» і включає витрати на працю та чистий прибуток (з урахуванням податків за виключенням субсидій);  $A$  – квадратна матриця коефіцієнтів прямих витрат розмірності  $n \times n$ .

На рис. 3 показано приклад розрахунку рівноважних цін на продукцію проміжного споживання за умов, що додана вартість для кожної галузі встановлена 1 грн. у складі ціни [6].

РИС. 3. Розрахункове поле програми для обчислення можливих сценаріїв балансування рівноважних цін та валової доданої вартості за ВЕД

Для проведення детального аналізу розрахунків виконується для різних сценарних варіантів. Програмний продукт надає можливість для різнобічного аналізу можливих сценаріїв динаміки структури ефективності результатів виробничої діяльності та матеріального забезпечення працюючих, враховуючи те, що до складу валової доданої вартості (ВДВ) входять показники «оплата праці» та «валовий прибуток, змішаний дохід» (рис. 4), а також податки та субсидії.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
52	<b>Всього, включаючи націнки</b>		<b>309222</b>	<b>17327</b>	<b>17543</b>		<b>55249</b>	<b>329094</b>	<b>10136</b>	<b>54849</b>	<b>26861</b>	<b>24864</b>	<b>65</b>
53	Податки на продукти	D.21	9760	163	233		538	3172	232	1097	536	853	1
54	Субсидії на продукти	D.31											
55	<b>Разом витрат</b>	<b>P.2</b>	<b>318982</b>	<b>17490</b>	<b>17776</b>		<b>55787</b>	<b>332266</b>	<b>10368</b>	<b>55946</b>	<b>27397</b>	<b>25717</b>	<b>67</b>
56	<b>II. ВАЛОВА ДОДАНА ВАРТІСТЬ</b>	<b>V.1g</b>											
57	<b>Оплата праці найманих працівників</b>	<b>D.1</b>	<b>35131</b>	<b>15253</b>	<b>6083</b>		<b>12883</b>	<b>33233</b>	<b>6782</b>	<b>7638</b>	<b>2021</b>	<b>3007</b>	<b>60</b>
58	Інші податки, пов'язані з виробництвом	D.29	3176	249	368		647	2182	160	479	165	150	4
59	Інші субсидії, пов'язані з виробництвом	D.39	-1787	-1598			-51	-243	-11				
60	<b>Валовий прибуток, змішаний дохід</b>	<b>V.3g</b>	<b>203286</b>	<b>-3532</b>	<b>36234</b>		<b>28605</b>	<b>39091</b>	<b>3783</b>	<b>7954</b>	<b>1079</b>	<b>853</b>	<b>1</b>
61	<b>Валова додана вартість</b>	<b>V.1g</b>	<b>239806</b>	<b>10372</b>	<b>42685</b>		<b>42084</b>	<b>74263</b>	<b>10714</b>	<b>16071</b>	<b>3265</b>	<b>4010</b>	<b>8</b>
62	<b>III. ВИПУСК ПРОДУКЦІЇ</b>	<b>P.1</b>	<b>558788</b>	<b>27862</b>	<b>60461</b>		<b>97871</b>	<b>406529</b>	<b>21082</b>	<b>72017</b>	<b>30662</b>	<b>29727</b>	<b>75</b>
63													
64													
65													
66													

РИС. 4. Структура ВДВ відповідно до міжнародної методики складання Національних рахунків

Важливим показником оцінки ефективності економічної діяльності кожної галузі є *рентабельність*. Під рентабельністю розуміють відносний показник прибутковості, що характеризує ефективність господарської та фінансової діяльності суб'єктів економічної діяльності. Показник рентабельності розраховується як відношення валового прибутку (доходу) до обсягу використаних ресурсів та здійснених витрат на виробництво.

Далі на рис. 5 показано графік рівня рентабельності в енергетичній сфері. З нього видно, що рентабельність зазнала суттєвого зниження за період 2002 – 2004 років, коли в Україні відбувалось значне згортання масштабів виробничої діяльності. В подальшому галузь динамічно реагувала як на результати світової фінансової кризи, так і на суттєві дисбаланси в національній економіці. Зокрема в 2010 та 2011 роках рентабельність становила 11,5 % і 12,1 % відповідно.

Але починаючи з 2012 року ефективність виробничої діяльності відносно стабілізувалась і трималась для галузей енергетики у межах 17–20 %, що відповідає підвищенню економічної активності у впровадженні відновлювальних джерел енергії.



РИС. 5. Динаміка виробничої рентабельності у галузях енергетики, %

**Дослідження компонент моделі «витрати-випуск» з використання регресійного аналізу.** Розглянемо детальніше використання регресійного аналізу для дослідження динаміки компонент моделі «витрати-випуск» з метою оцінки функціональної залежності та ступеня впливу між обраними показниками [4, 5].

Економетричний підхід означає пошук статистичної залежності обсягів міжгалузевих потоків  $x_{ij}$  від обсягів виробництв  $X_i$ ,  $X_j$  у сполученій парі  $(i, j)$  видів економічної діяльності – постачальника  $i$  та споживача  $j$  за допомогою регресійних рівнянь.

Побудова функцій вигляду  $x_{ij} = f_{ij}(X_i, X_j)$  фактично означає відмову в межах моделі В. Леонтьєва від загальноприйнятої передумови про можливість поза модельного визначення коефіцієнтів прямих матеріальних витрат  $a_{ij}$ , що технологічно пов'язують обсяги поставки продукції ВЕД  $i$  на виробництво одиниці продукції ВЕД  $j$ . Такий підхід особливо виправданий за умов нестабільності національної економіки, коли міжгалузеві потоки  $x_{ij}$  визначаються не стільки технологічними умовами виробництва в галузі  $j$  (що зумовлені коефіцієнтами  $a_{ij}$ ), скільки можливістю (чи обмеженістю) цих поставок за поточної ситуації. Детальніше дану модель та розроблені програмні засоби описано в [4–7].

Підготовлені та скориговані дані вхідного масиву статистичної інформації використовуються вхідні дані для розрахунку коефіцієнтів регресійних рівнянь. Розрахунки та розв'язок оптимізаційних задач виконуються у програмному середовищі VisualBasic for Excel програмою, яка настраюється при підготовці даних. На першому етапі виконується цикл розрахунків коефіцієнтів лінійної регресії методом найменших квадратів та знаходяться характеристики отриманих регресійних рівнянь.

Для кожної пари галузей  $i, j$  знаходяться коефіцієнти лінійної регресії вигляду

$$x_{ij} = c_{ij} + \lambda_{ij} X_i + \beta_{ij} X_j.$$

Знайдені коефіцієнти  $c_{ij}$ ,  $\lambda_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  та значення вибраних характеристик записуються у таблицю, яка є вхідною інформацією для виконання аналізу, обробки та використання отриманих результатів у подальшому моделюванні.

На рис. 6 показано фрагмент таблиці. Рядки з різними діапазонами значень коефіцієнту детермінації мають різний колір. Зеленим позначені значення коефіцієнту детермінації у діапазоні 0,7 – 1,0, жовтим – у діапазоні 0,4 – 0,7, помаранчевим – у діапазоні 0,1 – 0,4, нижче 0,1 – червоним. Значення у першому діапазоні вказують на невелику помилку у встановленні взаємозв'язку, в другому – умовно прийнятну помилку, в третьому – велику, у четвертому неприйнятну або відсутність взаємозв'язку між  $x_{ij}$  та  $X_i, X_j$ .

1 ВИХІДНІ ДАНІ - Характеристики залежностей $X_j = c_j + \lambda_j X_i + \beta_j X_j$ (розв'язок рівнянь лінійної регресії)									
2 Середні									
3 Значення коефіцієнтів									
4 Коef. детермінації									
5 Станд. помилка оцінки									
6 F статистика									
$X_j$	$c_j$	$\lambda_j$	$\beta_j$	$c_j$	$\lambda_j$	$\beta_j$	Коef. детермінації	Станд. помилка оцінки	F статистика
X_1_1	1.001E+04	0.000E+00	2.184E-01	1.485E+03	0.000E+00	4.962E-03	9.944E-01	2.883E+03	1.938E+03
X_1_2	9.609E+01	-1.709E-03	5.038E-03	4.577E+01	3.658E-04	8.753E-04	7.802E-01	7.705E+01	1.839E+01
X_1_3	9.708E+03	1.781E-01	-6.283E-03	3.059E+03	1.704E-02	5.954E-03	9.823E-01	3.994E+03	2.771E+02
X_1_4	-7.423E+00	2.945E-04	-1.575E-04	1.151E+01	1.089E-04	2.881E-04	9.292E-01	1.990E+01	2.427E+01
X_1_5	-8.251E+01	-4.221E-04	3.295E-03	8.536E+01	4.970E-04	1.413E-03	5.448E-01	1.364E+02	5.983E+00
X_1_6	-1.554E+03	9.142E-03	1.127E-02	1.194E+03	1.263E-02	1.331E-02	7.571E-01	2.071E+03	1.517E+01
X_1_7	-2.892E+02	2.853E-04	4.881E-03	9.808E+01	6.544E-05	8.358E-04	9.324E-01	1.370E+02	6.894E+01
X_1_8	-1.130E+02	7.684E-03	-6.653E-03	9.796E+01	1.08E-03	1.504E-03	9.409E-01	1.480E+02	7.966E+01
X_1_9	3.408E+00	-4.076E-07	-2.808E-05	2.527E+00	1.099E-05	5.022E-05	9.106E-02	3.762E+00	5.010E-01
X_1_10	-2.331E+02	3.036E-03	-2.012E-04	4.444E+02	4.285E-03	6.799E-03	3.018E-01	8.151E+02	2.161E+00
X_1_11	-5.465E+01	3.489E-03	1.349E-03	8.475E+01	1.112E-03	4.835E-03	9.684E-01	1.259E+02	1.534E+02
X_1_12	-3.607E+01	-1.885E-03	3.729E-02	1.648E+02	1.033E-03	4.641E-03	9.569E-01	2.594E+02	1.111E+02
X_1_13	3.311E+02	-2.968E-02	2.304E-02	1.170E+02	6.528E-04	4.178E-03	7.598E-01	1.743E+02	1.582E+01
X_1_14	3.484E+01	-1.851E-04	2.772E-03	1.808E+01	6.544E-05	8.358E-04	9.272E-01	2.379E+01	5.575E+00
X_2_1	-5.282E+02	1.386E-02	2.703E-03	1.899E+02	3.632E-03	1.518E-03	9.568E-01	3.197E+02	1.157E+02
X_2_2	1.483E+02	0.000E+00	6.891E-02	1.156E+03	0.000E+00	8.220E-03	9.647E-01	1.997E+03	7.028E+01
X_2_3	1.738E+04	-1.151E-01	1.148E-01	2.313E+04	6.822E-01	9.964E-02	8.481E-01	2.185E+04	2.792E+01
X_2_4	-5.836E+03	7.382E-02	3.214E-01	1.911E+03	8.395E-02	9.282E-02	9.804E-01	3.278E+03	3.632E+02
X_2_5	5.642E+02	3.798E-02	-1.036E-02	8.154E+02	1.706E-02	2.028E-02	7.404E-01	1.326E+03	1.495E+01
X_2_6	-4.609E+02	1.937E-02	-1.228E-03	7.081E+02	3.630E-02	1.599E-02	5.300E-01	1.187E+03	5.776E+00
X_2_7	-4.217E+01	3.581E-03	-1.377E-02	6.214E+01	9.730E-04	7.809E-03	7.666E-01	8.797E+01	1.633E+01
X_2_8	-1.202E+03	6.546E-02	2.343E-02	1.063E+03	3.582E-02	2.072E-02	9.520E-01	1.818E+03	9.911E+01
X_2_9	8.631E+00	2.464E-04	-1.061E-04	4.190E+01	6.551E-04	1.251E-03	9.568E-02	6.215E+01	2.948E-01
X_2_10	-1.969E+02	-1.200E-02	1.678E-02	2.418E+02	8.326E-03	5.522E-03	6.729E-01	4.030E+02	3.433E+01
X_2_11	-2.638E+02	4.278E-03	5.294E-03	9.906E+01	2.356E-03	4.280E-03	9.116E-01	1.701E+02	5.159E+01
X_2_12	-6.223E+02	-4.236E-03	3.663E-02	2.183E+02	7.791E-03	1.463E-02	9.227E-01	3.416E+02	5.970E+01
X_2_13	-2.256E+02	-5.803E-03	2.895E-02	1.321E+02	3.989E-03	1.907E-02	8.275E-01	1.839E+02	2.398E+01
X_2_14	1.284E+01	2.296E-03	-2.613E-03	3.265E+01	4.311E-04	2.301E-03	9.251E-01	4.652E+01	6.177E+01
X_3_1	-2.605E+03	-4.549E-03	2.048E-01	2.705E+03	5.264E-03	1.508E-02	9.902E-01	5.532E+03	5.039E+02
X_3_2	3.517E+03	-7.173E-03	1.859E-01	2.068E+03	8.906E-03	6.098E-02	9.696E-01	1.953E+03	1.459E+02
X_3_3	2.889E+04	0.000E+00	2.701E-01	8.032E+03	0.000E+00	7.900E-03	9.449E-01	1.514E+04	1.948E+03

РИС. 6. Результат розрахунку рівнянь попарної регресії між коефіцієнтами  $x_{ij}$  та значеннями  $X_i, X_j$

Результати дозволяють оцінити ступінь взаємовпливу показників, рівень щільності, наявності (відсутності) автокореляції, достовірність обраних гіпотез та інші. Докладний перелік статистичних параметрів, які розраховуються для оцінки регресійних рівнянь, розглянуто в [4].

Подальше моделювання полягає у побудові статистичної моделі, яка у векторному вигляді записується так

$$(E - B)\vec{x} + \vec{c} = \vec{y},$$

де  $E$  – одинична матриця розміру  $n$ ;  $B$  – матриця з коефіцієнтами  $b_{ij} = \beta_{ij}$  для  $i \neq j$  та

$$b_{ii} = \beta_{ii} + \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \text{ для } i = 1, \dots, n; \vec{c} - \text{вектор з компонентами } c_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}, i = 1, \dots, n; \vec{x}, \vec{y} - \text{вектори з}$$

компонентами  $x_i, y_i, i = 1, \dots, n$ .

Коефіцієнти  $c_{ij}, \lambda_{ij}, \beta_{ij}$ , що розраховані для регресійних рівнянь підставляємо у вихідну модель ТВВ і отримуємо систему рівнянь вигляду

$$\sum_{j=1}^{n-1} \beta_{nj} x_j + \left( \sum_{j=1}^n \lambda_{nj} + \beta_{nn} - 1 \right) x_n = - \sum_{j=1}^n c_{nj} - y_n.$$

Після підстановки в ліву частину системи прогнозованих обсягів випуску продукції у постійних цінах  $x_j$ , розв'язуємо систему рівнянь ТВВ відносно  $y_i$  та знаходимо значення кінцевого продукту [6–9].



Оскільки вектор кінцевого споживання продукту наведено у системі постійних цін, то на наступному етапі розраховуємо ступінь цінових (інфляційних) зрушень в економіці. Для цього, скоригувавши показники на відповідні індекси цін, переводимо їх у систему поточних цін споживачів та досліджуємо динаміку інфляційних зрушень за окремими видами економічної діяльності [5–8].

Розглянемо аналіз регресійного рівняння між ВЕД «Комп'ютерне програмування та надання інших інформаційних послуг. Видавнича діяльність» та «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря». Вихідні дані для розрахунку цього регресійного рівняння графічно показані на рис. 7.



РИС. 7. Динаміка використання ІТ-послуг і товарів в енергетичній галузі України (для коефіцієнтів повних матеріальних витрат)

Регресійне рівняння зв'язку коефіцієнтів рівняння  $x_{17;11}$  із обсягами випуску продукції ВЕД 17 «Комп'ютерне програмування та надання інших інформаційних послуг. Видавнича діяльність» та ВЕД 11 «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря» розраховано при нульовому значенні коефіцієнта  $c_{ij}$ . Дослідження проводились двічі на різних масивах статистичних даних (для періоду 2000 – 2017 рр. та 2000 – 2020 рр. ). Результати наведені у таблиці.

ТАБЛИЦЯ. Результати побудови регресії з використанням різних діапазонів років

Інтервал, роки	n	Значення коефіцієнтів		Стандартна помилка коефіцієнтів		R <sup>2</sup>	F <sub>розрах</sub>
		λ	β	λ	β		
2000–2017	18	3,1543×10 <sup>-3</sup>	0,80886×10 <sup>-3</sup>	0.001276838	0.00057951	0,8822	59,9
$x_{17;11} = 3,1543 \times 10^{-3} \times X_{17} + 0,80886 \times 10^{-3} \times X_{11}$							
2000–2020	21	5,9841×10 <sup>-3</sup>	-0,43239×10 <sup>-3</sup>	0.000975152	0.000606015	0,9499	180,0
$x_{17;11} = 5,9841 \times 10^{-3} \times X_{17} - 0,43239 \times 10^{-3} \times X_{11}$							

За період з 2017 по 2020 рік ситуація в міжгалузевому використанні товарів і послуг ІТ-індустрії в енергетичній галузі дещо змінилась.



Розглянемо регресійне рівняння та його характеристики для періоду 2000 – 2017 років. Відповідно до коефіцієнтів даного рівняння, якщо ВЕД-постачальник (Комп'ютерне програмування та надання інших інформаційних послуг) збільшує випуск своєї продукції та послуг, скажімо, на 1000 грн., то у відповідності з першим коефіцієнтом ВЕД-споживач (енергетична галузь) за умов міжгалузевого розподілу послуг ІТ-індустрії може дозволити собі витрати на додаткове їх впровадження на суму 3,15 грн. Це свідчить про прямий економічний вплив ІТ-індустрії на енергетичну галузь за умов існуючої міжгалузевої структури та незначному фінансуванні на впровадження смарт-технологій. Якщо ж галузі енергетичної сфери планують збільшити витрати на новітні технології на 1000 грн., то можуть отримати незначний прибуток на суму 1,27 грн. Характеристики даного регресійного рівняння такі. Коефіцієнт детермінації 0,8822 – досить близький до одиниці. Це вказує на досить тісний зв'язок між обраними показниками. Тобто з високим ступенем вірогідності можна стверджувати, що регресійне рівняння достовірно описує функціональну залежність між обсягом послуг ІТ-індустрії та рівнем їх споживання в енергетичній сфері.

Для періоду 2000 – 2020 років розрахунки повторені з урахуванням даних, що охоплювали період економічних дисбалансів, спричинених пандемією COVID-19. Навіть за цих умов коефіцієнт регресії дає підстави стверджувати, що при витратах у розмірі 1000 грн. на впровадження смарт-технологій в енергетиці в ІТ-галузі можна розраховувати на прибуток у розмірі 5,98 грн. Але збільшення витрат на новітні технології в обсязі 1000 грн. галузями енергетики не є прибутковим у короткостроковій перспективі ( коефіцієнт « $-0,43239 \times 10^{-3}$ » не вказує на пряму збитковість для галузі, оскільки стандартна помилка за цим коефіцієнтом « $0,6060 \times 10^{-3}$ » перевищує його за абсолютним значенням). Характеристики даного регресійного рівняння такі. Коефіцієнт детермінації 0,9499 – досить близький до одиниці. Це вказує на тісний зв'язок між обраними показниками. Тобто з високим ступенем вірогідності можна стверджувати, що регресійне рівняння достовірно описує функціональну залежність між обсягом послуг ІТ-індустрії та рівнем їх споживання в енергетичній сфері.

Статистичну значущість лінійної множинної регресії для кожного випадка можна перевірити за допомогою критерія Фішера ( $F$ -критерія). Для визначення адекватності прийнятої економетричної моделі система розраховує значення критерія Фішера:

$$\text{для моделі з } c_{ij}: F_R = \frac{RSS_1 - RSS_2}{(m+1)-1} \times \left( \frac{RSS_2}{n-(m+1)} \right)^{-1} = \frac{R^2}{1-R^2} \times \frac{n-m-1}{m},$$

$$\text{для моделі без } c_{ij}: F_{R0} = \frac{RSS_{10} - RSS_{20}}{(m+0)-0} \times \left( \frac{RSS_{20}}{n-(m+0)} \right)^{-1} = \frac{R_0^2}{1-R_0^2} \times \frac{n-m}{m},$$

де  $R^2, R_0^2$  – коефіцієнт детермінації;  $n$  – кількість років, дані яких використовуються у побудові регресії ( $n_{2017} = 18; n_{2020} = 21$ )  $m = 2$  – число факторів у рівнянні регресії ( $X_i, X_j$ ); " $\pm 1$ " враховує, що змінна  $c_{ij}$  ("intercept") використовується; "0", якщо змінна  $c_{ij}$  зафіксована на 0;  $RSS_1, RSS_{10}$  – "residual sum of squares" (сума квадратів відхилень) для регресійної моделі, де значення  $\lambda_{ij}, \beta_{ij}$  зафіксовані на нулі;  $RSS_2, RSS_{20}$  – те саме для моделі, де  $\lambda_{ij}, \beta_{ij}$  використовуються;  $m+1$  та  $m+0$  ступені свободи у моделях, де  $\lambda_{ij}, \beta_{ij}$  використовуються; 1 та 0 ступені свободи у моделях, де  $\lambda_{ij}, \beta_{ij}$  не використовуються.

Табличні значення для  $F$ -критерію для ймовірності  $P = 0,95$  і  $K_1 = m = 2$  та  $K_2$  :  
 для періоду 2000 – 2017 рр. –  $K_2 = n - m - 1 = 15$ ,  $K_2 = n - m = 16$  дорівнюють  $F_{таб} = 3,68$ ,  
 $F_{таб} = 3,63$ ;  
 для періоду 2000 – 2020 рр. –  $K_2 = n - m - 1 = 18$ ,  $K_2 = n - m = 19$  дорівнюють  $F_{таб} = 3,55$ ,  
 $F_{таб} = 3,52$ .

Оскільки для розглянутого нами прикладу виконується умова  $F_{R0} > F_{таб}$  (де  $F_{R0}$  для наведених прикладів 59,9 та 180,0), то з надійністю  $P = 0,95$  можна вважати адекватними розглянуті регресійні рівняння і на їх основі проводити подальший економічний аналіз [10].

Узагальнення проведених статистичних розрахунків дозволяє зробити висновок, що збільшення впровадження смарт-технологій в енергетичній галузі України має хоч і *незначний*, але *прямий* функціональний вплив і демонструє позитивну динаміку показників міжгалузевого використання ІТ-послуг. Незначний вплив зумовлено недостатнім рівнем асигнування на оновлення основних фондів у традиційних галузях енергетики. Застосування новітніх технологій притаманне технологічному розвитку відновлювальних джерел енергетики, але їх частка в національній енергетиці незначна, хоч і має позитивну динаміку.

**Висновки.** Оскільки частка виробленої "зеленої" енергії у загальному обсязі залишається незначною, то недостатнім є вплив у контексті забезпечення вагомої акумуляції смарт-технологій.

Основним результатом розрахунків за запропонованою методикою є як самі коефіцієнти кореляції рівнянь регресії з відповідними стандартними помилками, так і основні статистичні характеристики цих рівнянь, що дозволяють оцінити резерви впровадження смарт-технологій за структурою традиційних ВЕД. Слід зазначити, що розрахунок за економетричною моделлю для детального аналізу за окремими видами відновлювальної енергетики на сьогодні складно реалізувати. Переважно це зумовлене браком статистичних даних за репрезентативний інтервал часу для регресійного аналізу.

За умов, що склались, актуальним лишається розрахунок макроекономічних сценаріїв розвитку галузі за прямою та оберненою моделлю «витрати-випуск». Такий підхід перспективний для розробки заходів економічного вирівнювання в енергетичній сфері.

#### Список літератури

1. New Transitions Performance Index 2021. [https://ec.europa.eu/info/news/new-transitions-performance-index-2021-eu-shows-strong-performance-its-transition-towards-sustainability-2022-mar-14\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/new-transitions-performance-index-2021-eu-shows-strong-performance-its-transition-towards-sustainability-2022-mar-14_en) (звернення: 26.10.2022).
2. Sub-regional Innovation Policy Outlook 2020: Eastern Europe and the South Caucasus. Genève: ECE/CECI/26, 2021. P. 341–386. <https://unece.org/economic-cooperation-and-integration/publications/sub-regional-innovation-policy-outlook-2020> (звернення: 26.10.2022)
3. Гаркушенко О.М., Заніздра М.Ю. "Зелені" ІКТ: потенціал і пріоритети для сталого розвитку: аналітичний огляд. *Економіка промисловості*. 2020. № 3. С. 47–81. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.047>
4. Карпець Е.П. Прогнозування бюджетних показників на базі економетричної моделі таблиць Витрати-Випуск. Інформаційно-аналітичне супроводження бюджетного процесу. Київ: 2013. С. 387–397.
5. Кузьменко В.М., Карпець Е.П. Автоматизація формування і ведення інформаційної бази даних для дослідження дисбалансних процесів в економіці країни. *Математичне моделювання в економіці*. 2014. № 1. С. 9–16. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve\\_2014\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve_2014_1_3)
6. Розробити комплекс моделей стабілізаційного узгодження структури матеріально-речовинних потоків та соціально-економічних зрушень в економіці України / Г.П. Донець, Е.П. Карпець, В.М. Кузьменко та ін. / Заключний звіт про виконання НДР 0117U000472. К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2019. 227 с.
7. Karpets E., Kuzmenko V. Software Implementation of the Econometric Model for Estimating Balance Changes in Economy. *Modelare matematica, optimizare si tehnologii informationale*. Materiale ed. a 8-a Conf. Internationale. Chisinau: Evrica, 2018. P. 131–133.

8. Карпець Е.П., Кузьменко В.М. Загальний алгоритм визначення впливу економічних зрушень на базі балансних моделей. *Математичне та комп'ютерне моделювання*. 2017. Вип. 15. С. 67–72. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtkm\\_tekh\\_2017\\_15\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtkm_tekh_2017_15_13)
9. Karpets E. Modeling of structural dynamics in Formation of the Digital State. International Scientific Forum "New Economics – 2019". Kyiv, November 14–15, 2019. [http://www.aenu.org/download/monographs/Forum2019\\_T1.pdf](http://www.aenu.org/download/monographs/Forum2019_T1.pdf)
10. Лукашенко І.Г., Краснікова Л.І. Економетрика. К.: Тов. Знання, 1998. 494 с.

Одержано 03.11.2022

**Карпець Елеонора Петрівна,**

кандидат економічних наук, старший науковий співробітник  
 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,  
[eleonora.karpets@gmail.com](mailto:eleonora.karpets@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2143-4225>

**Кузьменко Віктор Миколайович,**

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,  
[kvn\\_ukr@yahoo.com](mailto:kvn_ukr@yahoo.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7284-3662>

UDC 519.85

**Eleonora Karpets\*, Viktor Kuzmenko****Study of Influence of IT-Technologies on Indicators of the Energy Sector of the Economy***V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv**\*Correspondence: [eleonora.karpets@gmail.com](mailto:eleonora.karpets@gmail.com)*

**Introduction.** Energy is an essential branch of the economy, which needs not only reconstruction but effective, innovative solutions, one of which is the wide implementation of digital technologies. It is important to investigate possible cross-industry changes to adjust macroeconomic scenarios of industry development.

**The purpose** of the study is to assess the degree of influence of the introduced 'smart' technologies in the energy industry on the level of inter-industry relationships according to the developed algorithms of the econometric and static Input-Output models.

**Results.** The main consequence of calculations according to the proposed methodology is the possibility of assessing the impact of the introduction of 'smart' technologies on structural dynamics in the energy sector. However, the statistical data for the selected time interval is not enough for analysis by types of renewable energy. Since the share of 'green' energy in the total amount of energy produced remains insignificant, its influence on the accumulation of 'smart' technologies is insufficient.

**Conclusions.** The analysis of statistical calculations allows us to state that the increase in 'smart' technologies implementation in the energy industry of Ukraine has a direct functional impact, albeit insignificant, and demonstrates the positive dynamics in the IT services inter-industry use. The negligible impact is caused by reduced allocations for the renewal of fixed assets in traditional energy sectors. There is a certain use of the latest technologies in the field of renewable energy sources, but their share in the energy structure is insignificant, although it has positive dynamics. Calculating the macroeconomic scenarios of the industry development according to the direct and inverse Input-Output models, which are promising for developing economic equalization measures in the energy sector, remains relevant.

**Keywords:** econometric model of Input-Output tables, direct and dual problems of the IO model, inter-industry flows, types of economic activity, regression analysis.