УДК 330.341.1.(4-6ЄС)

РОЗВИТОК НАЦІОНАЛЬНИХ ІННОВАЦІЙНИХ СИСТЕМ КРАЇН ЄС У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

DEVELOPMENT OF NATIONAL INNOVATION SYSTEMS OF EU COUNTRIES IN THE CONTEXT OF INCREASING THEIR EFFICIENCY

Гнідіна В.С.
магістр спеціальності «Економіка»,
Маріупольський державний університет

Gnidina Valeriia
Master's Degree in "Economics",
Mariupol State University

У статті досліджено особливості розвитку національних інноваційних систем країн ЄС. На основі аналізу показників GII було здійснено ранжування країн за рівнем інноваційного розвитку у складі ЄС та світі загалом. Визначено, що за GII інноваційними лідерами є Швеція, Нідерланди та Великобританія; а аутсайдерами – Хорватія, Греція та Румунія. Розвинуто метод оболонкового аналізу даних (DEA) в аспекті оцінки ефективності національних інноваційних систем (НІС). За результатами аналізу моделей VRS та CRS було зроблено висновок, що деякі лідери не входять до «ефективного полюсу» (Швеція, Данія та Фінляндія), тобто мають потенційні резерви для підвищення обсягу високотехнологічного експорту. У процесі аналізу було отримано рекомендовані значення вхідних та вихідних змінних для НІС країн ЄС, які можуть стати орієнтиром для розроблення інноваційної політики.

Ключові слова: *національна інноваційна система, країни ЄС, метод оболонкового аналізу даних (DEA), постійна віддача від масштабу (CRS), змінна віддача від масштабу (VRS), ефективність НІС, «ефективний полюс».*

В статье исследованы особенности развития национальных инновационных систем стран ЕС. На основе анализа показателей GII было осуществлено ранжирование стран по уровню инновационного развития в составе ЕС и мире в целом. Определено, что по GII инновационными лидерами являются Швеция, Нидерланды и Великобритания; а аутсайдерами – Хорватия, Греция и Румыния. Развит метод оболочечного анализа данных (DEA) в аспекте оценки эффективности национальных инновационных систем (НИС). По результатам анализа моделей VRS и CRS был сделан вывод, что некоторые лидеры не входят в «эффективный полюс» (Швеция, Дания и Финляндия), то есть имеют потенциальные резервы для повышения объема высокотехнологичного экспорта. В ходе анализа были получены рекомендуемые значения входных и выходных переменных для НИС стран ЕС, которые могут стать ориентиром для разработки инновационной политики.

Ключевые слова: *национальная инновационная система, страны ЕС, метод оболочечного анализа данных (DEA), постоянная отдача от масштаба (CRS), переменная отдача от масштаба (VRS), эффективность НИС, «эффективный полюс».*

The article investigates the peculiarities of functioning and development of EU countries national innovation systems. As a result of the analysis of indicators of scientific, technical and innovative activity, it was found that there is a significant asynchrony and differentiation of innovative development levels in the EU, since some EU member states don`t have sufficient innovative potential and are not able to fully integrate into the process of formation of the global innovation space. Based on the analysis of key GII indicators, countries were ranked by the level of innovative development within the EU and the world as a whole. It was determined that Sweden, the Netherlands and the UK are the GII innovation leaders in the EU; in turn, Croatia, Greece and Romania are the outsiders (27, 27, 28 ranks in the EU, respectively). The method of DEA in the aspect of assessing the effectiveness of national innovation systems (NIS) was developed. There were two types of DEA models: input-oriented and output-oriented, the specification of the second model (output-oriented) is usually used for practice of evaluation NIS, which is focused on maximizing the output indicator, in this case, the volume of high-tech exports. Based on the analysis of the output VRS and CRS models, depending on the influence of key inputs on the production of high-tech exports, it was concluded that some

innovative leaders are not included in the "effective pole" (Sweden, Denmark and Finland), that is, they don`t use the available resources effectively and have potential reserves to improve the efficiency of these NIS. It should also be noted that the analysis identified countries that have 1 in all three efficiency indicators (VRS, CRS and Scale efficiency), that is, they are "reference", among which are innovative leaders – Germany, France, the Netherlands and Ireland; and the EU's catching up innovators – Malta, Slovakia and Latvia. Also using the values of the VRS model, recommendations were obtained to change the values of indicators for the NIS of the EU countries. It is concluded that by studying the experience of "reference" countries, EU countries can develop a set of measures to improve the efficiency of their NIS, which will allow them to be more competitive on the world stage.

Key words: *national innovation system, EU countries, data envelopment analysis (DEA), constant return to scale (CRS), variable return to scale (VRS), NIS efficiency, "effective pole".*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Нині більшість розвинених країн є постіндустріальними, що підтверджує факт формування їх ВВП в основному за рахунок третинного сектора економіки – галузі послуг і наукомістких сфер. Тобто щоб бути конкурентоспроможними на міжнародній арені, національні економіки повинні постійно трансформуватися, оновлюватися, використовуючи інновації та нові технології як рушійну силу. Саме національна інноваційна система (НІС) дає змогу якісно контролювати, регулювати й ефективно управляти інноваційною діяльністю країни. Тому формування ефективних НІС є одним із актуальних завдань країн Євросоюзу. Це завдання з неоднаковою інтенсивністю вирішується в регіонах Європи, що пов'язано з різними економічними та політичними передумовами. Але, незважаючи на відмінності між країнами, європейські НІС стають більш схожими одна на одну з погляду своєї структури та інститутів. Це пояснюється неізольованим від ЄС розвитком країн, які є глибоко інтегрованими в загальний інноваційний простір та тісно взаємодіють між собою. Але в цих умовах менш розвинені країни знаходяться під «тиском» практичного досвіду більш розвинених, і в результаті вектор еволюції європейських НІС визначають тільки окремі країни-лідери інноваційного розвитку (Швеція, Нідерланди, Німеччина тощо). Саме тому актуальним стає вивчення особливостей розвитку сучасних НІС країн ЄС задля знаходження можливих шляхів подолання асинхронності науково-технічного та інноваційного розвитку в контексті загальних євроінтеграційних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Увагу питанням досвіду європейських країн у створенні національних інноваційних систем присвячені праці таких зарубіжних фахівців, як Р. Коуен, Г. Ван де Паал, Л. Коенен, Дж. Мудіссон, Б. Ашем, Дж. Сераваллі, Ф. Тодлінг; та українських учених, таких як В.М. Геєць, Г.О. Андрощук, Ю.В. Макогон, А.Б. Петровський, Л.І. Федулова, А.І. Амоша, Н.Л. Фролова та ін. Але через сучасні інтенсивні зміни світових науково-технологічних процесів інноваційний розвиток європейських НІС набуває нових рис, і тому потребує постійного моніторингу та обґрунтування.

Формулювання цілей статті **(постановка завдання)**. На основі вищезазначеного можна сформулювати ключове завдання дослідження, яке полягає у пошуку нових методів оцінки ефективності національних інноваційних систем країн Європейського Союзу та підвищення їхнього рівня.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Нині у світовому господарстві особливе місце займає Європейський союз (ЄС), який являє собою глобальне економічне та інноваційне співтовариство, орієнтоване на перманентне економічне зростання. Він одним із перших вибрав курс на побудову інноваційної моделі економіки і мав для цього суттєвий економічний потенціал, який він зберігає і нині. Це вказує на те, що ЄС перебуває на високій стадії розвитку економічної інтеграції, а країни ЄС за основними показниками науково-технічної сфери належать до числа лідерів світової економіки.

Нині програмним документом, що визначає перспективні напрями розвитку в довгостроковому періоді, є Стратегія «Європа 2020» [5], особливе місце в якій займає питання наукових досліджень та інновацій. Зокрема, однією з ініціатив стратегії є створення «Інноваційного союзу» задля підвищення ефективності розвитку НІС країн ЄС. Основними завданнями «Європа 2020» є [5, с. 5]:

– створення робочих місць для всіх, особливо для молоді, підвищення рівня зайнятості населення у віці 2064 від–сьогоднішніх 69% до не менше 75%;

– досягнення 3% рівня витрат на НДДКР від ВВП;

– підвищення інноваційної конкурентноздатності європейських компаній на світовому ринку.

Ця стратегія робить акцент на забезпечення розумного, стійкого й інклюзивного зростання як способу подолання структурної слабкості економіки Європи, щоб поліпшити конкурентоспроможність і продуктивність та забезпечити стійкість її інноваційного розвитку. Але досягнення вищезазначених завдань буде доволі складним за наявності наростаючої диференціації в рівнях інноваційного розвитку країн ЄС у зв'язку з його подальшим географічним розширенням, оскільки

деякі країни не здатні повністю інтегруватися у процес формування «Інноваційного Союзу».

Для оцінки показників розвитку НІС країн-членів ЄС було використано Глобальний індекс інновацій (GII) [7], що включає 82 індикатори та складається із вхідних критеріїв (input), які свідчать про наявні ресурси, та вихідних (output), що демонструють результати інноваційної діяльності. Показники GII вказуються у балах від 0 до 100. Саме цей індекс є найбільш всеосяжним міжнародним індексом, тому що дає змогу здійснити позиціонування усіх країн світу згідно з їхнім інноваційним розвитком.

Так, у рейтинг GII-2018 увійшли 126 країн з усіх регіонів світу, які в сукупності виробляють приблизно 98% світового ВВП і в яких проживає 92% населення планети. У табл. 1 наведені позиції країн ЄС у рейтингу ГІІ.

Можна побачити, що у 2016–2017 р. інноваційним лідером ЄС була Швеція з балом 63,57 та 63,82 відповідно. У 2019 р. Швеція опустилася на 3 позицію, хоча і залишається лідируючою скандинавською економікою. Вона входить у топ-10 за всіма показниками, за винятком стійкості ринку (12 місце), де Швеція втратила дві позиції з минулого року. Країна зберігає першу позицію в заявках на патенти й отримує перше місце у сфері кількості міжнародних студентів-бакалаврів та верховенства права. До слабких сфер належать співвідношення учнів і вчителів, ВВП на одиницю енергоспоживання, НДДКР, які фінансуються за за кордоном, приплив ПІІ та зростання продуктивності праці.

Також зазначимо зміну інноваційного лідера ЄС у 2019 р., ним були Нідерланди з балом 63,32 зі 100 можливих. Країна піднялася на 1 місце в 2018 році, ставши 2 інноваційною економікою в світі. Вона займає 2 місце за інноваційним потенціалом та 4 місце в субіндексі інноваційних результатів. Зміцнюючи свої позиції,

Таблиця 1

Рейтинг країн ЄС у рейтингу GII (2016–2018 рр.)

Країна	2016			2017			2018		
	Бал	Рейтинг у світі	Рейтинг у ЄС	Бал	Рейтинг у світі	Рейтинг у ЄС	Бал	Рейтинг у світі	Рейтинг у ЄС
Австрія	52,65	20	10	53,10	20	10	51,32	21	10
Бельгія	51,97	23	11	49,85	27	15	50,50	25	12
Болгарія	41,42	38	24	42,84	36	22	42,65	37	23
Хорватія	38,29	47	27	39,80	41	26	40,73	41	26
Кіпр	46,34	31	18	46,84	30	17	47,83	29	16
Чехія	49,40	27	14	50,98	24	11	48,75	27	14
Данія	58,45	8	5	58,70	6	4	58,39	8	5
Естонія	51,73	24	12	50,93	25	12	50,51	24	11
Фінляндія	59,90	5	3	58,49	8	5	59,63	7	4
Франція	54,04	18	9	54,18	15	9	54,36	16	9
Німеччина	57,94	10	7	58,39	9	6	58,03	9	6
Греція	39,75	40	26	38,85**	44	28	38,93	42	27
Угорщина	44,71	33	20	41,74	39	24	44,94	33	20
Ірландія	59,03	7	4	58,13	10	7	57,19	10	7
Італія	47,17	29	16	46,96	29	16	46,32	31	18
Латвія	44,33	34	21	44,61	33	20	43,18	34	21
Литва	41,76	36	22	41,17	40	25	41,19	40	25
Люксембург	57,11	12	8	56,40	12	8	54,53	15	8
Мальта	50,44	26	13	50,60	26	13	50,29	26	13
Нідерланди	58,29	9	6	63,36	3	2	63,32*	2	1
Польща	40,22	39	25	41,99	38	23	41,67	39	24
Португалія	46,45	30	17	46,05	31	18	45,71	32	19
Румунія	37,90**	48	28	39,16	42	27	37,59**	49	28
Словаччина	41,70	37	23	43,43	34	21	42,88	36	22
Словенія	45,97	32	19	45,80	32	19	46,87	30	17
Іспанія	49,19	28	15	48,81	26	14	48,68	28	15
Швеція	63,57*	2	1	63,82*	2	1	63,08	3	2
Велика Британія	61,93	3	2	60,89	5	3	60,13	4	3

Примітка: * – максимальне значення за GII, ** – мінімальне значення показника GII.

Джерело: складено автором на основі [7]

Нідерланди зберігають 2 місце у сфері знань і технологій і 3 місце у сфері творчих результатів. У цьому році Нідерланди також займають 1 місце у сфері онлайн-творчості і 2 місце у сфері поширення знань, де вони займають 1 місце за надходженнями ІС та відтоком ПІІ. Слабкі сторони країни зберігаються і включають у себе вищу освіту (48 місце) і показники співвідношення учнів/учителів, валове накопичення капіталу та легкість отримання кредиту.

До трійки лідерів ЄС за рівнем інноваційного розвитку також нині належить Великобританія (4 місце у світі, 3 місце у складі ЄС). Великобританія займає 3 позицію в субіндексі інноваційних ресурсів і зберігає своє 6 місце в субіндексі випуску інновацій. За стійкістю бізнесу (12 місце) Великобританія покращує свій ранг, також деякі збільшення спостерігаються у сфері поширення знань (16 місце), інвестицій (8 місце) і креативних товарів і послуг (2 місце). Незважаючи на це, Великобританія втрачає три позиції в інститутах (14 місце), людському капіталі і дослідженнях (8) та інфраструктурі (7). Але вона зберігає 1 місце за якістю наукових публікацій, онлайн-послуг та електронної участі; вона втрачає 1 місце за ІКТ і створенням бізнес-моделей. Завдяки своїм історичним університетам та якості наукових публікацій Великобританія, як і раніше, займає 5 місце у світі за якістю інновацій.

Також зазначимо, що за ГІІ до країн ЄС із найменшим рівнем інноваційного розвитку належать Хорватія, Греція та Румунія (27, 27, 28 місця у складі ЄС відповідно). Хоча зазначимо, що у 2018 р. Хорватія та Румунія вперше увійшли до 10 лідерів із доходом вище середнього за трьома основними субіндексами і за коефіцієнтом ефективності інновацій. Треба відмітити, що всі країни ЄС входять до першої 50-ки країн рейтингу, останньою у світі у складі ЄС є Румунія (49 місце) з балом 37,59.

До числа найбільш важливих параметрів, що характеризують розвиток НІС, належать фінансування НДДКР та чисельність співробітників у цій сфері. За першим показником можна судити про увагу уряду до наукових досліджень та розробок і до вирішення проблем інноваційно-технологічного розвитку країни. Динаміка середніх показників інноваційного розвитку країн ЄС за 2016–2018 рр. наведена у табл. 2.

Таким чином, лідерами за показниками витрат на НДДКР є Швеція (3,1% від ВВП), Австрія з показником у 3,1% від ВВП, спільну 3 позицію обіймають Німеччина та Данія (2,9% від ВВП). Також зазначимо, що лідером із витрат державного сектору на НДДКР (% від ВВП) є Данія (1,07% відповідно). Вона лідирує також за індикатором кількості наукових дослідників – 7483,6 осіб на млн. населення, що перевищує такий же показник Румунії приблизно у 8,4 разу. Також серед лідерів виділимо Люксембург, що має найвищі значення показника зайнятості у наукомісткій діяльності (22%) на противагу найменшому показнику знову ж таки у Румунії (7,7% від загальної), що підтверджує слабкість інституційного середовища в інноваційній сфері останньої країни. НІС Швеції характеризується найвищим значенням приватних витрат на НДДКР – 2,42%. Лідерами за індикаторами витрат на НДДКР (% від ВВП) є: за державними – Данія (1,07%), Фінляндія (0,94%) та Німеччина (0,93%); за витратами бізнесу – Швеція (2,42%), Німеччина (2,09%) та Данія (1,97).

Також відмітимо лідерів за показниками ступеня залучення в обмін інноваціями. Рівно у половини європейських країн експорт високотехнологічної продукції перевищує 50%. Безперечними лідерами за цим показником є Німеччина (68,3% від загального), Словаччина (67,3%) та Угорщина (67,6%), у яких високотехнологічний експорт становить більше двох третин від загального. Найменшу високотехнологічну активність за експортом має Греція (21,4%) та Болгарія (34,7%). Щодо експорту наукомістких послуг, то тут до трійки нині входять Ірландія, Люксембург та Великобританія з показниками у 94,0%, 92,3% та 82,1% від загального експорту послуг. Тобто можна стверджувати, що ці країни ЄС надають переважно саме такий вид послуг. Стосовно аутсайдерів зазначимо, що ними виступають Литва (23,1% від загального експорту послуг) та Хорватія (19,1%). У інших країн експорт наукомістких послуг дорівнює більше третини від загального експорту, що нині є у межах оптимального.

Також задля визначення потенційних шляхів удосконалення НІС країн ЄС було досліджено їхню ефективність. Для цього був використаний метод оболонкового аналізу даних (Data Envelopment Analysis), який оцінює ефективність, яка в загальному вигляді визначається як частка від ділення суми всіх вихідних параметрів на суму всіх вхідних факторів. Цей метод аналізу отримав розвиток в 70–80-х рр. XX століття у роботах А. Чарнеса та ін. [1, с. 429–444]. DEA використовується для вимірювання ефективності приймаючих рішення одиниць (Decision Making Unit, DMU). Це можуть бути країни або інші суб'єкти, відносну ефективність яких необхідно розрахувати. Відповідно до DEA, об’єкт може бути визнаний ефективним у сфері інноваційної діяльності, якщо жоден інший об’єкт (об’єкти) не може виробити більше інноваційного результату за заданого обсягу інноваційних ресурсів.

У межах DEA оцінка ефективності може розглядатися з погляду максимізації результатів за фіксованого обсягу ресурсів або, навпаки, з погляду мінімізації ресурсів, що використовуються за фіксованого обсягу випуску. Перший випадок задачі DEA відповідає специфікації моделі, орієнтованої на випуск (output-oriented DEA), другий випадок – орієнтованої на ресурси (input-oriented DEA).

Таблиця 2

Показники розвитку національних інноваційних систем країн ЄС

Країна	Середнє значення за 2016–2018 рр.				
	Витрати на НДДКР, % від ВВП	Високотехнологічний експорт (% від експорту країни)	Експорт наукомістких послуг (% від експорту послуг)	Зайнятість в наукомісткій діяльності (% від зайнятості)	Кількість наук. дослідників (осіб на млн. населення)
Австрія	3,10	57,4	43,7	15,00	4955,00
Бельгія	2,50	48,4	68,7	15,60	4875,30
Болгарія	0,80	34,7	37,6	10,20	1989,40
Хорватія	0,90	39,0	19,1**	11,60	1501,50
Кіпр	0,50	59,5	68,7	17,00	1013,80
Чехія	1,70	67,1	42,7	12,90	3611,90
Данія	2,90	48,6	74,9	15,10	7483,60*
Естонія	1,30	39,3	50,0	13,50	3189,20
Фінляндія	2,70	44,0	71,7	16,20	6816,80
Франція	2,20	58,3	62,0	14,50	4168,80
Німеччина	2,90	68,3*	75,5	14,80*	4431,10
Греція	1,00	21,4**	52,9	12,10	3201,30
Угорщина	1,20	67,6	47,7	11,60	2568,80
Ірландія	1,20	56,2	4,0*	20,80	4575,20
Італія	1,30	52,2	51,0	13,70	2018,10
Латвія	0,40**	35,5	51,5	12,10	1833,50
Литва	0,80	36,6	23,1	9,70	2822,40
Люксембург	1,20	44,4	92,3	22,00	5058,30
Мальта	0,60	54,8	53,8	19,00	1951,40
Нідерланди	2,00	49,7	78,0	17,10	4548,10
Польща	1,00	48,6	40,8	10,30	2139,10
Португалія	1,30	40,1	38,5	10,60	3824,20
Румунія	0,50	57,2	45,5	7,70**	894,80**
Словаччина	0,80	67,3	38,3	10,60	2654,80
Словенія	2,00	57,3	36,5	13,70	3821,00
Іспанія	1,20	46,3	33,8	12,50	2654,70
Швеція	3,30*	54,4	71,5	18,50	7021,90
Вел.Британія	1,70	53,5	82,1	18,50	4470,80
Макс. знач.	3,30	68,3	94,0	22,00	7483,60
Мін. знач.	0,40	21,4	19,1	7,70	894,80
Серед. знач.	1,54	50,3	55,2	14,18	3574,81

Примітка: * – максимальне значення показника, ** – мінімальне значення показника.

Джерело: складено автором за даними [6; 7; 8; 9]

Отже, за допомогою методу DEA даних можна побудувати межу ефективності. Вона має форму певної випуклої оболонки у просторі вхідних та вихідних змінних. Відповідно, виходячи з назви методу, ця межа ефективності огинає всі точки, що відповідають досліджуваним об'єктам у багатовимірному просторі [1, с. 423–424]. Сама ж межа ефективності використовується як деяка еталонна точка, де рівень ефективності кожного об'єкта буде знаходитися як відстань від нього до межі в просторі входів та виходів.

Є дві базові моделі непараметричного методу DEA. Припустимо, що в досліджуваному просторі діяльності функціонує *i* країн. У кожної країни є *N* вхідних ресурсів та *M* виготовлюваних продуктів. А набори вхідних і вихідних параметрів для кожної і-тої країни представляються векторами x_i та q_i відповідно. Набір таких векторів для досліджуваної вибірки можна записати у вигляді матриць X та Q. Отже, можна сформулювати модель у вигляді задачі лінійного програмування [10, с. 109]:

$$\begin{aligned} &min_{\theta,\lambda}\theta, \\ &-q_i + Q\lambda \geq 0, \\ &\theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ &\lambda \geq 0, \end{aligned} \qquad (1)$$

де θ – скаляр;

λ – вектор констант розмірності *i+1*.

Значення θ буде мірою ефективності *i*-того об'єкту. Причому ефективність повинна бути ≤ 1. Якщо $\theta = 1$, це означає, що об'єкт знаходиться на межі ефективності, а отже, є оптимально ефективним (за Парето-Купмансом). Така задача знаходження ефективності зводиться до багаторазового вирішення задачі лінійного програмування для кожного з досліджуваних об'єктів.

Представлена модель побудована Чарнсом, Купером і Родосом і припускала постійний ефект масштабу на виробництві, була названа Constant Retuns to Scale (CRS) [1, с. 425–426]. За цією моделлю довжина відрізку від досліджуваної точки до границі ефективності являє собою величину, на яку можуть бути пропорційно зменшені витрати на вхідні ресурси без зменшення обсягу випущеної продукції.

Є також інша модель, де передбачається змінна віддача від масштабу (Variable returns to scale (VRS)). Вона була створена Бенкером, Чарнзом і Купером у 1984 р. VRS-модель відрізняється від CRS-моделі тільки наявністю додаткового обмеження $e\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_j = 1$. Спільно з умовою $\lambda \geq 0$ воно задає умови опуклості множини, що складається з комбінацій країн, що входять у вибірку. Звідси випливає, що одній країні в моделі VRS не можуть протистояти співвідношення або частки інших країн, а тільки зважені суми, поки сума оціночних факторів становить 1.

Для отримання оцінки ефективності і-тої країни потрібно вирішити задачу, що орієнтована на вхід Input-VRS (2) [10, с. 109]:

$$min_{\theta,\lambda}\theta,$$

$$\begin{aligned} -q_i + Q\lambda &\geq 0, \\ \theta x_i - X\lambda &\geq 0, \\ e\lambda = 1,\ \lambda &\geq 0, \end{aligned} \qquad (2)$$

Аналогічно модель може бути перебудована у вигляді Output-VRS (3):

$$max_{\theta,\lambda}\varphi,$$

$$\begin{aligned} -\varphi q_i + Q\lambda &\geq 0, \\ x_i - X\lambda &\geq 0, \\ e\lambda = 1,\ \lambda &\geq 0, \end{aligned} \qquad (3)$$

Задача VRS також вирішується за допомогою двокрокової процедури, аналогічній CRS. На першому кроці мінімізується θ, а на другому кроці максимізується сума надлишкових витрат і недостатніх випусків за фіксованого значення θ [10, с. 109]. Решта висновків для моделі VRS також аналогічні висновкам CRS-моделі. Такі моделі дають змогу визначити технічну неефективність окремої країни, яка полягає в пропорційному зниженні значень вхідних параметрів за сталим рівнем вихідних.

Тобто однією з переваг DEA для аналізу ефективності функціонування та розвитку НІС є можливість оцінювати ефективність загалом як результат впливу безлічі факторів на вихідний показник. Цей підхід відрізняється від прийнятих, пов'язаних із формуванням індексу на основі зважених індикаторів, саме тому його було обрано для аналізу.

Зазначимо, що для аналізу ефективності розвитку НІС країн ЄС (за 2016–2018 рр.) за допомогою методу DEA нами було відібрано 5 показників інноваційного розвитку, які в комплексі

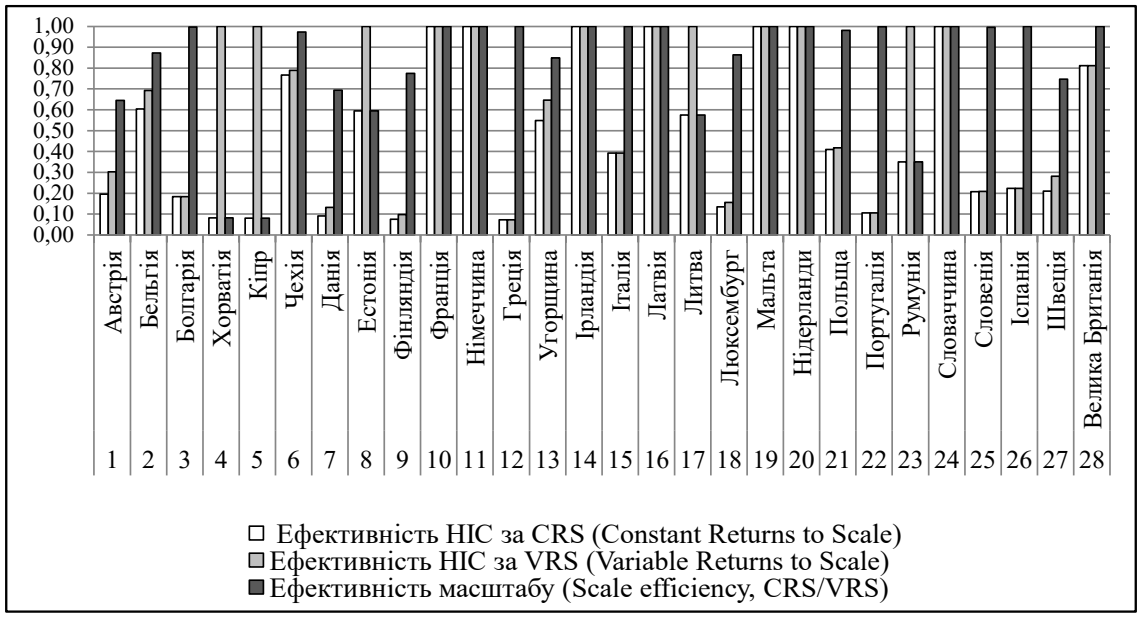

Рис. 1. Результати розрахунку ефективності розвитку НІС країн ЄС за допомогою вихідної орієнтованої моделі DEA

Джерело: власні розрахунки автору

характеризують сучасне функціонування НІС. До вхідних індикаторів, тобто інноваційних ресурсів, увійшли 4 показники: 1) обсяги фінансування науково-дослідної діяльності (тис.дол.) – у контексті фінансового забезпечення інновацій; 2) чисельність працівників, задіяних в НДДКР (осіб) як показник інституційного середовища у сфері інновацій; 3) кількість заявок на патенти – як показник генерування інновацій; 4) заявки на товарні знаки на 1 мільярд ВВП (в ППС) – як показник творчих інноваційних результатів. Вихідним показником ефективності розвитку НІС було вибрано високотехнологічний експорт у млн. дол. США.

Треба відмітити, що у практиці оцінювання НІС, як правило, використовується специфікація вихідної моделі (output-oriented), орієнтована на максимізацію вихідного показника. Результати розрахунків вихідної орієнтованої моделі наведені на рис. 1.

Зазначимо, що країна з показником 1 або 100% вважається ефективною, тобто «еталонною» для інших, і, на нашу думку, її можна віднести до так званого «ефективного полюсу». Але зазначимо, що питома вага НІС, що сформували «ефективний полюс» («еталонні» країни), за постійними і змінними масштабними ефектами відрізняється і становила відповідно 25,0% (7 країн) і 42,9% (12 країн). За коефіцієнтом ефективності масштабу (відношення CRS до VRS) ефективними об'єктами є 14 країн (рівно 50% від складу ЄС). Саме через різницю у кількості «ефективних полюсів» рангові місця країн за різними моделями значно відрізняються. Рейтинг країн ЄС за трьома показниками ефективності наведений у табл. 3.

Зазначимо, що модель із постійною віддачею від масштабу (CRS) є більш жорсткою і накладає серйозні додаткові обмеження. Середнє

Таблиця 3

Рейтинг показників ефективності НІС країн ЄС (2016–2018 рр.)

Країна	Рейтинг за CRS	Коефіцієнт ефективності за CRS	Рейтинг за VRS	Коефіцієнт ефективності за VRS	Рейтинг за ефективністю масштабу	Технічна ефективність (масштабу)
Австрія	14	0,20	8	0,30	10	0,65
Бельгія	4	0,60	4	0,69	4	0,87
Болгарія	15	0,18	12	0,18	1	1,00*
Хорватія	19	0,08	1	1,00*	14	0,08
Кіпр	20	0,08	1	1,00*	15	0,08
Чехія	3	0,77	3	0,79	3	0,97
Данія	18	0,09	14	0,13	9	0,69
Естонія	5	0,60	1	1,00*	11	0,60
Фінляндія	21	0,08	16	0,10	7	0,77
Франція	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Німеччина	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Греція	22	0,07	17	0,07	1	1,00*
Угорщина	7	0,55	5	0,65	6	0,85
Ірландія	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Італія	9	0,39	7	0,39	1	1,00*
Латвія	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Литва	6	0,58	1	1,00	12	0,58
Люксембург	16	0,14	13	0,16	5	0,86
Мальта	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Нідерланди	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Польща	8	0,41	6	0,42	2	0,98
Португалія	17	0,11	15	0,11	1	1,00*
Румунія	10	0,35	1	1,00*	13	0,35
Словаччина	1	1,00*	1	1,00*	1	1,00*
Словенія	13	0,21	11	0,21	1	1,00*
Іспанія	11	0,22	10	0,22	1	1,00*
Швеція	12	0,21	9	0,28	8	0,75
Велика Британія	2	0,81	2	0,81	1	1,00*
Середнє знач.	**–**	**0,49**	**–**	**0,63**	**–**	**0,83**

Примітки: * – країни «ефективного полюсу»

Джерело: розраховано автором

значення інноваційної ефективності, розраховане за цією моделлю, що дорівнює 0,49, значно нижче, ніж розраховане за змінним ефекту масштабу (VRS), яке становило 0,63. Коефіцієнт ефективності масштабу, що характеризує відношення ефективності, розрахованої за постійним ефектом масштабу до ефективності за змінним, становить у середньому за країнами ЄС 0,829.

Модель CRS розраховує ефективність із прийняттям факту, що пропорційне збільшення кількості всіх використовуваних факторів виробництва приводить до збільшення випуску в тій же пропорції [2]. Таким чином, за показником постійного ефекту масштабу неефективними країнами (показник менше 0,5) виявилися 15 країн (від Польщі з ефективністю за CRS, що дорівнює 0,41 або 41%, до Греції з 0,07 або 7%). Зазначимо також, що до складу «нееталонних» об'єктів із формування високотехнологічного експорту увійшли інноваційні лідери за ГІІ, такі як Швеція (0,21 або 21%), Данія (0,09 або 9%) та Фінляндія (0,08 або 8%), які б могли за наявних ресурсів продукувати більший інноваційний випуск.

За моделлю VRS, яка допомагає оцінити ефективність незалежно від того, чи є пропорційна зміна вхідних і вихідних змінних [3; 4]. Цей метод включає в себе як збільшення, так і зменшення віддачі від масштабу. Аналіз показує, що тут до «ефективних полюсів» також увійшли Кіпр, Литва, Естонія, Румунія та Хорватія з показником 1 або 100%. У цій моделі до складу «нееталонних» об'єктів увійшли інноваційні лідери за ГІІ, такі як Швеція (більший показник у цій моделі – 0,28 або 28%), Данія (0,13 або 13%) та Фінляндія (0,10 або 10%), які б могли за своїх наявних ресурсів продукувати більший за фактичний інноваційний випуск. За рейтингом VRS ефективності останнє місце також займає

Таблиця 4

Рекомендації щодо підвищення ефективності показників НІС за моделлю VRS з орієнтацією на вихід

Країна	Фактичні значення показників → Рекомендовані цільові значення показників			
	Обсяги фінансування НДДКР (тис. дол.)	Чисельність працівників, задіяних в НДДКР	Патентна активність (кількість поданих заяв на патенти)	Заявки на товарні знаки на (дол. на 1 млрд. ВВП (за ППС))
Австрія	11103,9 → 7864,9	74724,3 → 74724,0	2353,7 → 1290,5	13,0 → 7,2
Бельгія	10773,9 → 7230,8	80023,3 → 68823,1	1162,3 → 1162,3	8,1 → 6,9
Болгарія	781,7 → 781,7	23614,0 → 10831,7	252,3 → 162,7	9,3 → 7,4
Хорватія	3015,3 → 3015,3	11319,7 → 11319,7	177,7 → 177,7	4,1 → 4,1
Кіпр	97,6 → 97,6	1362,3 → 1362,3	7,7 → 7,7	40,6 → 40,6
Чехія	86386,2 → 4741,0	67317,3 → 44654,1	883,7 → 883,7	5,1 → 5,1
Данія	64755,7 → 6506,7	62087,0 → 62087,0	1784,7 → 1015,4	12,1 → 6,5
Естонія	292,5 → 292,5	5818,7 → 5818,7	35,7 → 35,7	17,1 → 17,1
Фінляндія	6056,7 → 5092,8	48931,7 → 48931,7	1437,7 → 729,0	11,6 → 5,9
Франція	50032,2 → 50032,2	439281,0 → 439281,0	16255,0 → 16255,0	6,0 → 6,0
Німеччина	93335,8 → 93336,8	659987,3 → 65987,3	67501,3 → 67501,3	9,3 → 9,3
Греція	1830,3 → 1830,3	46558,0 → 22547,2	602,7 → 265,3	4,7 → 4,7
Угорщина	470946,5 → 3429,0	37678,7 → 31721,7	610,0 → 610,0	4,3 → 4,3
Ірландія	3133,4 → 3133,4	30698,0 → 30698,0	332,0 → 332,0	5,2 → 5,2
Італія	22894,6 → 22894,6	280241,0 → 191256,0	9758,3 → 9758,3	8,3 → 8,3
Латвія	133,5 → 133,5	5356,0 → 5356,0	115,7 → 115,7	7,6 → 7,6
Литва	363,6 → 363,6	11017,0 → 11017,0	133,0 → 113,0	7,1 → 7,1
Люксембург	682,4 → 462,9	5287,0 → 5287,0	453,0 → 49,8	36,9 → 36,9
Мальта	63,8 → 63,8	1469,3 → 1469,3	7,0 → 7,0	41,8 → 41,8
Нідерланди	14171,9 → 14172,9	133406,3 → 133406,3	2568,0 → 2568,0	9,5 → 9,5
Польща	18860,7 → 13826,5	121713,7 → 127713,7	4417,3 → 4417,3	5,3 → 5,3
Португалія	2395,2 → 2395,2	51133,3 → 24461,8	792,0 → 278,8	8,0 → 5,7
Румунія	3823,1 → 3823,1	32049,7 → 32049,7	1098,0 → 1098,0	2,5 → 2,5
Словаччина	772,4 → 772,4	18123,3 → 18123,0	232,3 → 232,3	4,5 → 4,0
Словенія	822,1 → 822,0	14447,0 → 11649,7	585,7 → 165,6	10,6 → 7,3
Іспанія	13494,7 → 13494,7	207484,0 → 125679,8	2761,7 → 2762,0	8,9 → 8,9
Швеція	144286,3 → 9218,7	87320,3 → 87320,0	2369,7 → 1564,7	11,1 → 7,8
Вел. Британія	32952,5 → 32952,5	418586,7 → 275257,8	14014,7 → 14014,7	7,0 → 7,0

Джерело: розраховано автором

Греція (0,07 або 7%), що свідчить про наявність у неї найслабшої НІС серед країн-членів ЄС.

Також зазначимо, що є країни, які за всіма трьома показниками ефективності мають 1 або 100%, тобто є «еталонними» для інших. Ними є 7 країн, серед яких інноваційні лідери ГІІ – Німеччина, Франція, Нідерланди та Ірландія; та наздоганяючі інноватори ЄС – Мальта, Словаччина та Латвія. Тобто ці країни максимально ефективно використовують свої вхідні інноваційні ресурси і завдяки їм продукують максимально можливий високотехнологічний експорт.

Оцінюючи отримані результати, також зазначимо таке: технічна ефективність масштабу становила 0,829. Цей показник означає, що в середньому Європейський Союз реалізував свій інноваційний потенціал на 83%, тобто не повністю, що підтверджує можливість удосконалення НІС країни ЄС.

Таким чином, під час розроблення рекомендацій щодо інноваційної політики ЄС необхідно спиратися на результати моделі VRS. Виходячи з цих припущень, було запропоновано рекомендовані цільові значення для підвищення загальної ефективності НІС. Рекомендації, наведені в табл. 4 та рис. 2, дають змогу вносити пропозиції щодо підвищення ефективності НІС завдяки знаходженню потенційно можливого обсягу вихідного індикатора. У країн, які були в межах «ефективного полюсу» за VRS, рекомендовані значення вхідних та вихідних змінних будуть дорівнювати фактичним.

Таким чином, враховуючи результати табл. 4 та рис. 2, можна зазначити, що країни у межах «неефективного полюсу» мають можливість збільшити високотехнологічний експорт за дотримання цільових значень вхідних змінних. Так, для Греції максимально можливим буде збільшення експорту аж у 13,8 разів порівняно з фактичним, для Фінляндії – у 10,33 разу; їхні системи в результаті аналізу продукування випуску за VRS виявилися найбільш неефективними. Цим країнам рекомендується зниження вхідних індикаторів: Греція – на 51,6% зайнятих у наукомісткій діяльності та на 56,0% кількості патентних заявок; Фінляндія – витрат на НДККР на 15,91%, кількості патентних заявок та вартісного обсягу заявок на товарні знаки на 49,2% та 49,1% відповідно. Рекомендоване зниження вхідних змінних свідчить про надлишок інноваційних ресурсів та через це їх неефективне використання для продукування високотехнологічного експорту. І саме тому дотримання цих значень дозволить країнам-аутсайдерам підвищити ефективність своїх НІС та досягти показника у 100%.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Таким чином, формування ефективних НІС для країн ЄС є нині головною метою задля підвищення конкурентоспроможності їхніх економік. Сформовані НІС країн ЄС вирізняються яскраво вираженою специфікою, неоднорідністю, використанням принципово різних підходів до створення та поширення інновацій, проте на меті мають створення єдиного інноваційного простору з метою інтеграції НІС у глобальний інноваційний простір. Аналіз показників ГІІ продемонстрував,

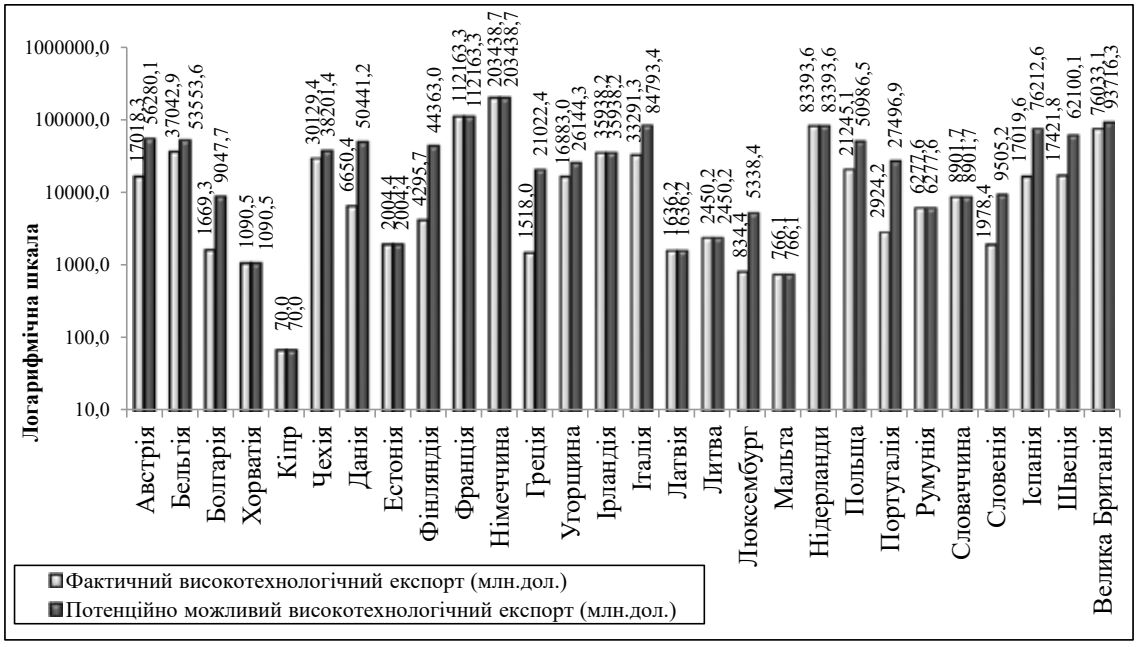

Рис. 2. Потенційно можливий та максимальний обсяг високотехнологічного експорту країн ЄС за цільовими значеннями вхідних індикаторів у табл. 4 (за моделлю VRS, орієнтованої на вихід)

Джерело: розраховано автором

що інноваційними лідерами ЄС є Швеція, Нідерланди та Велика Британія, які займають нині у світі від 2 до 5 місця у рейтингу ГІІ, тобто входять до переліку і світових лідерів. За ГІІ до країн ЄС із найменшим рівнем інноваційного розвитку належать Хорватія, Греція та Румунія (27, 27, 28 місця у складі ЄС відповідно).

Але за допомогою використання методу DEA стало зрозумілим, що загальне лідерство у сфері інновацій не є гарантією високої ефективності НІС у сфері продукування високотехнологічного експорту. Так, питома вага НІС країн ЄС, що сформували «ефективний полюс», за постійними (CRS) і змінними (VRS) ефектами відрізняється і становить відповідно 25,0% і 42,9%. За коефіцієнтом ефективності масштабу ефективними об'єктами були 14 країн (50% від складу ЄС). До складу «нееталонних» об'єктів увійшли інноваційні лідери за ГІІ, такі як Швеція, Данія та Фінляндія, які б могли за своїх наявних ресурсів продукувати більший високотехнологічний експорт. Використовуючи значення моделі VRS, було отримано рекомендовані цільові значення вхідних та вихідних змінних. Вивчивши досвід «еталонних» країн, країни ЄС можуть розробити комплекс заходів щодо підвищення ефективності своїх НІС, що дасть змогу бути більш конкурентоспроможними на світовій арені.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Charnes A, Cooper W., L. Rhodes. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*. 1978. № 2. Pp. 429–444.

2. Coelli T.J. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. *CEPA Working Paper 96/08*. University of New England, Armidale. 1996. 49 p.

3. Cooper W.W., Seiford L. M., & Zhu J. Handbook on Data Envelopment Analysis. In Chapter 1: Data Envelopment Analysis. 2011. pp. 1–39.

4. Dr.G. Thirupati Reddy. Comparison and Correlation Coefficient between CRS and VRS models of OC Mines. *International Journal of Ethics in Engineering & Management Education*, 2015. Vol. 2(1). Pp. 2348–4748.

5. European Commission. Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. *COM(2010) 2020 final.* URL: https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF (accessed: 08.11.2019).

6. European Innovation Scoreboard 2019. URL: http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards_en (accessed: 06.11.2019).

7. Global Innovation Index Reports 2011–2019. URL: http://www.wipo.int/publications/ru/series/index.jsp?id=129 (accessed: 06.11.2019).

8. UIS Statistics. *UNESCO Institute for Statistics (UIS).* URL: http://data.uis.unesco.org/ (accessed: 09.11.2019).

9. World development indicators. Data bank. URL: https://databank.worldbank.org/ (accessed: 07.11.2019).

10. Мандріка А.Ю. Використання орієнтованих моделей методу оболонкового аналізу даних для оцінки ефективності функціонування енергорозподільчих підприємств України. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії.* 2017. № 1–2 (07). С. 107–112.

REFERENCES:

1. Charnes A, Cooper W., L. Rhodes (1978). Measuring the Efficiency of DMU. *European Journal of Operational Research*. № 2. Pp. 429–444.

2. Coelli T.J. (1996) A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. *CEPA Working Paper 96/08*. University of New England, Armidale. 49 p.

3. Cooper W.W., Seiford L. M., & Zhu J. (2011). Handbook on Data Envelopment Analysis. In Chapter 1: Data Envelopment Analysis. pp. 1–39.

4. Dr. G. Thirupati Reddy (2015). Comparison and Correlation Coefficient between CRS and VRS models of OC Mines. *International Journal of Ethics in Engineering & Management Education*. Vol. 2(1), pp. 2348–4748.

5. European Commission (2010). Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. *COM 2020 final.* URL: https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF (accessed: 08.11.2019).

6. European Innovation Scoreboard 2019. URL: http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards_en (accessed: 06.11.2019).

7. Global Innovation Index Reports 2011–2019. URL: http://www.wipo.int/publications/ru/series/index.jsp?id=129 (accessed: 06.11.2019).

8. UIS Statistics. *UNESCO Institute for Statistics (UIS).* URL: http://data.uis.unesco.org/ (accessed: 09.11.2019).

9. World development indicators. Data bank. URL: https://databank.worldbank.org/ (accessed: 07.11.2019).

10. Mandrika A.Yu. Vykorystannia oriientovanykh modelei metodu obolonkovoho analizu danykh dlia otsinky efektyvnosti funktsionuvannia enerhorozpodilchykh pidpryiemstv Ukrainy. [Using oriented models of Data Envelopment Analysis to estimate the performance of power distribution enterprises of Ukraine]. *Ekonomichnyi visnyk Zaporizkoi derzhavnoi inzhenernoi akademii.* [Economic Bulletin of the Zaporizhzhya State Engineering Academy]. 2017. № 1–2 (07). pp. 107–112.