

Мехович Сергій Анатолійович, доктор економічних наук, професор кафедри економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Тел. (050)4026212; E-mail: sm261245@gmail.com

Попов Олександр Вікторович, кандидат економічних наук, Перший заступник голови правління Акціонерного товариства «ФЕД», м. Харків, Україна, Тел. (057) 7 66 52 33, E-mail: a.popov@fed.com.ua

Клепикова Світлана Володимирівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Тел. (050)3025328; E-mail: klepikovasv75@gmail.com

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61000

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ФОРСАЙТУ У ЗДІЙСНЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕІНЖИНІРИНГУ СУЧАСНОГО ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

***Анотація.** У статті розглянуто питання щодо механізму обґрунтування вибору напрямів технологічного реінжинірингу. Визначено, що ефективність перетворень у першу чергу залежить від методів, інструментів вибору напрямів радикального перетворення технологічної основи виробничого підприємства та взагалі від технологічної політики. Обґрунтування напрямів технологічного реінжинірингу пов'язано із великим обсягом взаємозалежних змінних інноваційних перетворень і потребує фундаментального аналізу їх поведінки і впливу на виробничий процес. На сьогодні нейронні мережі є одним з найвідоміших і ефективних інструментів інтелектуального аналізу даних, який розвивається завдяки досягненням в області теорії штучного інтелекту та інформатики. Інтелектуальні системи на основі штучних нейронних мереж, нечіткої логіки дозволяють вирішувати завдання виконання прогнозів, оптимізації, розпізнавання образів і управління. Для навчання мережі необхідно мати набір значень вхідних величин (чинників) і відповідних кожному окремому набору значень потрібної вихідної величини. Такий підхід цілком збігається із задачами вибору напрямів технологічного реінжинірингу на підприємствах інноваційного кластеру. З цією метою визначено суттєві зовнішні та внутрішні фактори, що здійснюють вплив на ефективність кластерної політики. На відміну від внутрішніх, зовнішні у найбільшій мірі дозволяють вирішувати завдання виконання прогнозів, оптимізації, розпізнавання образів і управління. В умовах недосконалої регіональної інноваційної системи та враховуючи цей фактор, для ефективності вирішення задач здійснення технологічного реінжинірингу промислового виробництва запропоновано методіку, яка поєднує форсайт-прогнозування перспектив технологічного реінжинірингу підприємств з теорією штучних нейронних мереж. Запропоновано механізм взаємодії штучних нейронних мереж і форсайт методу у визначенні напрямів технологічного реінжинірингу на основі регіональної кластерної політики.*

***Ключові слова:** штучні нейронні мережі, форсайт, технологічний реінжиніринг, інноваційна система, кластерна політика, прогнозування.*

Mekhovich Serhii Anatoliyovych, Doctor of Economics, Professor of the Department of Business Economics and International Economic Relations, National Technical University, Kharkiv Polytechnic Institute. Tel. (050) 4026212; E-mail: sm261245@gmail.com

Popov Alexander Viktorovich, Candidate of Economic Sciences, First Deputy Chairman of the Board of Joint Stock Company "FED", Kharkiv, Ukraine, Tel. (057) 7 66 52 33, E-mail: a.popov@fed.com.ua

Klepikova Svitlana Volodymyrivna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Management, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Tel. 80503025328, E-mail: klepikovasv75@gmail.com

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kyrpychova Str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61000

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND ACHIEVEMENTS OF TECHNOLOGICAL RE-ENGINEERING OF MODERN INDUSTRIAL PRODUCTION

***Abstract.** The article deals with the issue of the justification mechanism for the choice of directions of technological reengineering. It was determined that the effectiveness of the transformations primarily depends on the methods, tools for choosing directions for the radical transformation of the technological basis of the production enterprise and, in general, on the technological policy. The justification of the directions of technological training engineering is connected with a large volume of interdependent variables of innovative transformations and requires a*

fundamental analysis of their behaviour and impact on production process. Today, neural networks are one of the most famous and effective tools for intelligent data analysis, which is developed thanks to achievements in the field of artificial intelligence theory and computer science. Intelligent systems based on artificial neural networks and fuzzy logic allow solving the tasks of forecasting, optimization, pattern recognition and management. To train the network, it is necessary to have a set of values of input values (factors) and corresponding to each separate set of values of the desired output value. Such an approach completely coincides with the tasks of choosing the directions of technological reengineering at the enterprises of the innovation cluster. For this purpose, significant external and internal factors influencing the effectiveness of the cluster policy have been determined. In contrast to internal, external to the greatest extent allow solving the tasks of forecasting, optimization, pattern recognition and management. In the conditions of an imperfect regional innovation system and taking into account this factor, for the efficiency of solving the tasks of technological reengineering of industrial production, a methodology is proposed that combines foresight forecasting of the prospects of technological reengineering of enterprises with the theory of artificial neural networks. The mechanism of interaction of artificial neural networks and the foresight method in determining directions of technological reengineering based on regional cluster policy are proposed.

Keywords: artificial neural networks, foresight, technological engineering, innovation system, cluster policy, forecasting.

Мехович Сергей Анатольевич, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики бизнеса и международных экономических отношений Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Тел. (050) 4026212; E-mail; sm261245@gmail.com

Попов Александр Викторович, кандидат экономических наук, Первый заместитель председателя правления Акционерного общества «ФЭД», г. Харьков, Украина, Тел. (057)7665233; E-mail: a.popov@fed.com.ua

Клепикова Светлана Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Тел. (050)3025328; E-mail: klepikovasv75@gmail.com

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Курпичева, 2, Харьков, 61000, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ФОРСАЙТА В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕИНЖИНИРИНГА СОВРЕМЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о механизме обоснования выбора направлений технологического реинжиниринга. Определено, что эффективность преобразований в первую очередь зависит от методов инструментов выбора направлений радикального преобразования технологической основы производственного предприятия и вообще от технологической политики. Обоснование направлений технологического реинжиниринга связано с большим объемом взаимосвязанных переменных инновационных преобразований и требует фундаментального анализа их поведения и влияния на производственный процесс. Сегодня нейронные сети являются одним из самых известных и эффективных инструментов интеллектуального анализа данных, который развивается благодаря достижениям в области теории искусственного интеллекта и информатики. Интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей, нечеткой логики позволяют решать задачи выполнения прогнозов, оптимизации, распознавания образов и управления. Для обучения сети необходимо иметь набор значений входных величин (факторов) и соответствующих каждому отдельному набору значений требуемой исходной величины. Такой подход полностью совпадает с задачами выбора направлений технологического реинжиниринга на предприятиях инновационного кластера. С этой целью определены существенные внешние и внутренние факторы, оказывающие влияние на эффективность кластерной политики. В отличие от внутренних, внешние в наибольшей степени позволяют решать задачи выполнения прогнозов, оптимизации, распознавания образов и управления. В условиях несовершенной региональной инновационной системы и учитывая этот фактор, для эффективности решения задач осуществления технологического реинжиниринга промышленного производства предложена методика, сочетающая форсайт-прогнозирование перспектив технологического реинжиниринга предприятий с теорией искусственных нейронных сетей. Предложен механизм взаимодействия искусственных нейронных сетей и форсайт метода в определении направлений технологического реинжиниринга на основе региональной кластерной политики.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, форсайт, технологический реинжиниринг, инновационная система, кластерная политика, прогнозирование.

Постановка проблеми. Генеральною стратегією України є всебічна підтримка процесів створення, впровадження та використання інновацій, як

основи соціально-економічної політики, спрямованої на відродження підприємств, що постраждали внаслідок вірусної пандемії та під час воєнного конфлікту. Реальний стан виробничих підприємств потребує не поверхніх, санаційних заходів, а реінжинірингового підходу, тобто, корінних перетворень. Успіх у вирішенні таких масштабних задач залежить від обґрунтованості вибору вектору і напрямів розвитку галузей народного господарства, виробничих комплексів і підприємств країни в цілому. Як свідчить світовий досвід масштабних перетворень, основні параметри соціально-економічного розвитку повинні базуватись на комплексно розроблених економічних прогнозах. Штучні нейронні мережі (НМ) відомі як ефективний інструмент прогнозування на основі ретроспективних даних, але в умовах корінних перетворень для ефективного моделювання потрібно володіти інформацією щодо можливих наслідків інноваційних перетворень. Це характерно для форсайт методу. Робота присвячена вивченню принципів поєднання переваг обох методів з метою розробки на цій основі методологічних підходів у визначенні стратегічних напрямів технологічного реінжинірингу з метою підвищення інноваційної активності і конкурентоспроможності вітчизняних виробничих підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед досліджень нейронних мереж для використання прогнозування фінансових ринків слід виділити роботи вітчизняних дослідників: Л. В. Рожков, Бакулевський В. Л., Клепиков В. Б., Т. К. Кваша, Лічко К. П., Матвійчук А. В., Паладченко О. Ф., Писаренко Т. В., Терехов В. И., Жуков Р. В. [1-6] та інші, а також іноземних дослідників, таких як Аллан Даль Андерсен, Пер Даннеманд Андерсен, Франс Беркхат, Стиан Вестлейк, Лайош Нийри, Ашис Нэнди, Леон С. Фуэрт, Джулія Хертин, Саймон Хайкин та інші [7-16]. Вчені довели ефективність НМ в аналізі часових рядів, обґрунтували корисність нейронних мереж для аналізу трендів на фондовому ринку та зазначили, що порівняно з іншими підходами перевагою застосування НМ є вирішення нелінійних проблем, з чим не справляються класичні методи, які не можуть надати необхідної точності в результатах.

Матеріали та методологія дослідження. Методологія дослідження ґрунтувалася на теорії економічного аналізу, стратегічного аналізу, загальній теорії управління, маркетингу. Основними методами, які склали концептуальну основу дослідження є: аналіз, синтез, емпіричного узагальнення.

Результати дослідження. На сьогодні нейронні мережі є одним з найвідоміших і ефективних інструментів інтелектуального аналізу даних, який розвивається завдяки досягненням в області теорії штучного інтелекту та інформатики. Інтелектуальні системи на основі штучних нейронних мереж, нечіткої логіки дозволяють вирішувати завдання виконання прогнозів, оптимізації, розпізнавання образів і управління. В науковій літературі показано, що нейронні мережі набувають особливого значення при

вивченні закономірностей масових процесів, які недоступні прямому спостереженню і не піддаються експериментуванню [80]. Ефективний інструментарій пошуку закономірностей надає технологія побудови ШНМ, яка може бути синтезована (навчена) за статистичними даними відібраних показників, наданих підприємствами.

В основі нейромережових методів лежить спроба комп'ютерного моделювання процесів навчання, що використовуються в живих організмах. Нейронна мережа моделює роботу людської нервової системи, особливістю якої є здатність до самонавчання з урахуванням попереднього досвіду. Когнітивні здібності живих істот пов'язані з функціонуванням мереж, пов'язаних між собою біологічних нейронів - клітин нервової системи. Для моделювання біологічних нейромереж використовуються мережі, вузлами яких є штучні нейрони (тобто математичні моделі нейронів). Тобто, штучна нейронна мережа являє собою математичну модель та її технічну реалізацію, що функціонує подібно функціонування мереж нервових клітин – нейронів, мозку людини. Комп'ютерна (нейропроцесорна) реалізація ШНМ надає їй у порівнянні з біологічною ряд суттєвих переваг: швидкодію при переході штучного нейрону з одного стану в інший, яка в мільйони разів вище біологічного нейрону; можливість вирішення вищевказаних складних задач прогнозування, управління, апроксимації, кластеризації, оптимізації, узагальнення властивостей та інше. Це обумовило їх широке використання в технічних системах. В економіці штучні нейронні мережі широко використовуються в області фінансового менеджменту: прогнозування ринку цінних паперів і валютних котирувань, оцінці фінансових, валютних і кредитних ризиків, категоризації компаній і ін. [1,6,7,9]. В роботі [1] вперше було запропоновано використання методу нейронних мереж в управлінні енергоефективністю промислового підприємства за допомогою розробки на базі статистичних даних попередніх років методичного підходу прогнозування показника енергоефективності – питомої енергоемності. Особливістю НМ є те, що вона не програмується, а навчається. Для навчання мережі необхідно мати набір значень вхідних величин (чинників) і відповідних кожному окремому набору значень потрібної вихідної величини.

В основі Форсайту лежить довгострокове прогнозування стратегічних напрямів інноваційного розвитку з урахуванням експертної оцінки найбільш досвідчених фахівців. Сутність методології полягає у використанні експертами бачення найбільш значущих факторів у розвитку технологій. На цій основі у прогнозах формуються тенденції та визначаються очікувані результати у виробничій сфері. Зона охоплення – десятки років. За результатами Форсайтів, наприклад, Нідерланди виявили, що найкраще зможуть сприймати впровадження передових біотехнологій не великі аграрні корпорації, а фермерські господарства. В результаті, малий сільськогосподарський бізнес отримав держпідтримку [7].

Технологічне прогнозування на 20-30 років вважалося основною метою Форсайтів [8].

Історія таких прогнозів бере свій початок у 50-х роках минулого століття (фірма RAND Corporation). Через 20 років довгостроковим прогнозуванням науково-технологічного розвитку зайнялася Японія. З того часу в цій країні кожен п'ятирічку складаються довгострокові прогнози на 30 років. На підставі цих прогнозів приймаються рішення про майбутню державну політику. Це є одним з найсуттєвих факторів японського лідерства у розвитку промислового виробництва, карти виробничих кластерів та вибір інноваційних технологій. Таким чином, форсайт слід розглядати як один з інструментів корінних перетворень технологій сучасного виробництва за участю всіх зацікавлених сторін.

Як видно, і штучні нейронні мережі і форсайт застосовуються для розробки прогнозу. Різниця в тому, що нейронні мережі формують прогнози на основі ретроспективної інформації, а форсайт, використовуючи ті ж самі методи, ніби то продовжує пізнання процесів у середній і віддаленій перспективі. Саме ця інформація дуже важлива для вибору напрямків перетворень з позиції очікуємих наслідків. Такий підхід цілком збігається із задачами вибору напрямів здійснення технологічного реінжинірингу на підприємствах інноваційного кластеру.

Для вирішення цієї задачі необхідно встановити входні величини нейронної мережі, якими є чинники (фактори), що впливають на енергоефективність окремих підприємств кластеру і, як слідство, на показники, наприклад, енергоємності кластеру у перспективі в цілому. Загальна кількість чинників, які характеризують виробництво окремих підприємств відповідно поточним та стратегічним задачам кластеру достатньо значна і кожний з них утворює свій особистий фактор впливу на результативний показник. Згідно теорії економічного аналізу відомо, що в числі всіх факторів є суттєві і несуттєві. Практика довела, що в кінцевому результаті з всього масиву факторів 95-97 процентів впливу на результативний показник здійснюють від трьох до п'яти факторів. Іншими можна знехтувати.

Аналізуючи основні проблеми, що виникають перед підприємствами при формуванні технологічної політики, експерти виділяють дві групи чинників впливу: зовнішні і внутрішні. Серед тих, які суттєво впливають на вищевказаний показник, є такі, що обумовлені зовнішніми чинниками, на які підприємство не може впливати. До зовнішніх відносяться чинники слабо контрольовані з боку підприємства, наприклад, соціально-економічний розвиток країни, демографічна ситуація, ресурсна база, науково-технічний прогрес, кон'юнктура національного і світового ринку енергоносіїв та інші. Для нейронної мережі необхідно визначити впливові чинники, які входять в сферу управління промисловим підприємством. До числа внутрішніх відносяться контрольовані і керовані чинники, такі як інвестування в

енергозберігаючі проекти, ефективне використання енергоресурсів, впровадження найкращих доступних технологій в області енергоефективності, підвищення обізнаності персоналу та інш.

Розглядаючи інноваційний кластер як відкриту систему з зовнішніми (на світовому, державному та регіональному рівнях) та внутрішніми (на рівні підприємства) зв'язками, систематизуємо основні чинники, тобто особливо важливі елементи або істотні обставини, що впливають на результати реінжинірингових перетворень в умовах кластерної політики. Схематично це зображено на рис. 1. Розглянемо детальніше, яким чином кожен з виділених факторів впливає на енергоефективність промислового підприємства. Їх визначення важливе тому, що вони для підприємства є об'єктивно існуючими, але за рахунок зворотного зв'язку підприємства мають можливість їх вдосконалення, використовуючи право постановочної ініціативи, звернень до владних і регіональних органів, виступів у пресі та інше.

З іншого боку, володіння упереджувальною інформацією щодо самого факту їх існування дає можливість сконцентрувати зусилля та скорегувати свою політику аби уникнути можливих збитків та втрат позицій на ринках.

Міжнародні і політичні фактори обумовлені зовнішнім конкурентним середовищем. В умовах глобалізації провідні ігроки створюють будь-які пастки для того, щоб позбутися конкурентів та утримати найбільш прибуткові ринкові ніші. При цьому використовуються усі можливі засоби, включаючи ліквідацію конкурентів військовими засобами. Така агресивна політика примушує слабкі або залежні країни не втручатись в конфлікти, а у певних обставинах підтримувати агресивну ринкову політику. У залежності від її масштабів та спрямованості виникають зовнішні ринкові фактори, які суттєво впливають на інноваційні перетворення конкуруючих суб'єктів. У свою чергу вони впливають на ринкові відношення, цінову та корпоративну політику. Зазначені фактори, безумовно, суттєві, але випереджаючими, власно тими, що ждійснюють опір зовнішнім агресіям та визначають позицію підприємств у ринковому середовищі є науково-технологічні фактори. Справа у тому, що не всі країни здатні до науково-технічної діяльності, а тим більше не всі країни готові до сприйняття інноваційних рішень. Це обумовлено станом інноваційно-інвестиційного середовища, рівнем науково-технологічного і технічного розвитку та технологіями, які переважають у тій чи іншій країні. Але, у першу чергу, інноваційною спроможністю та готовністю до сприйняття передових технологій. Поведінка конкурентів у цих умовах залежить від оцінювання спроможності країн до освоєння передових (проривних) технологій та впровадження пов'язаних з ними як технологічних, так і нетехнологічних інновацій.

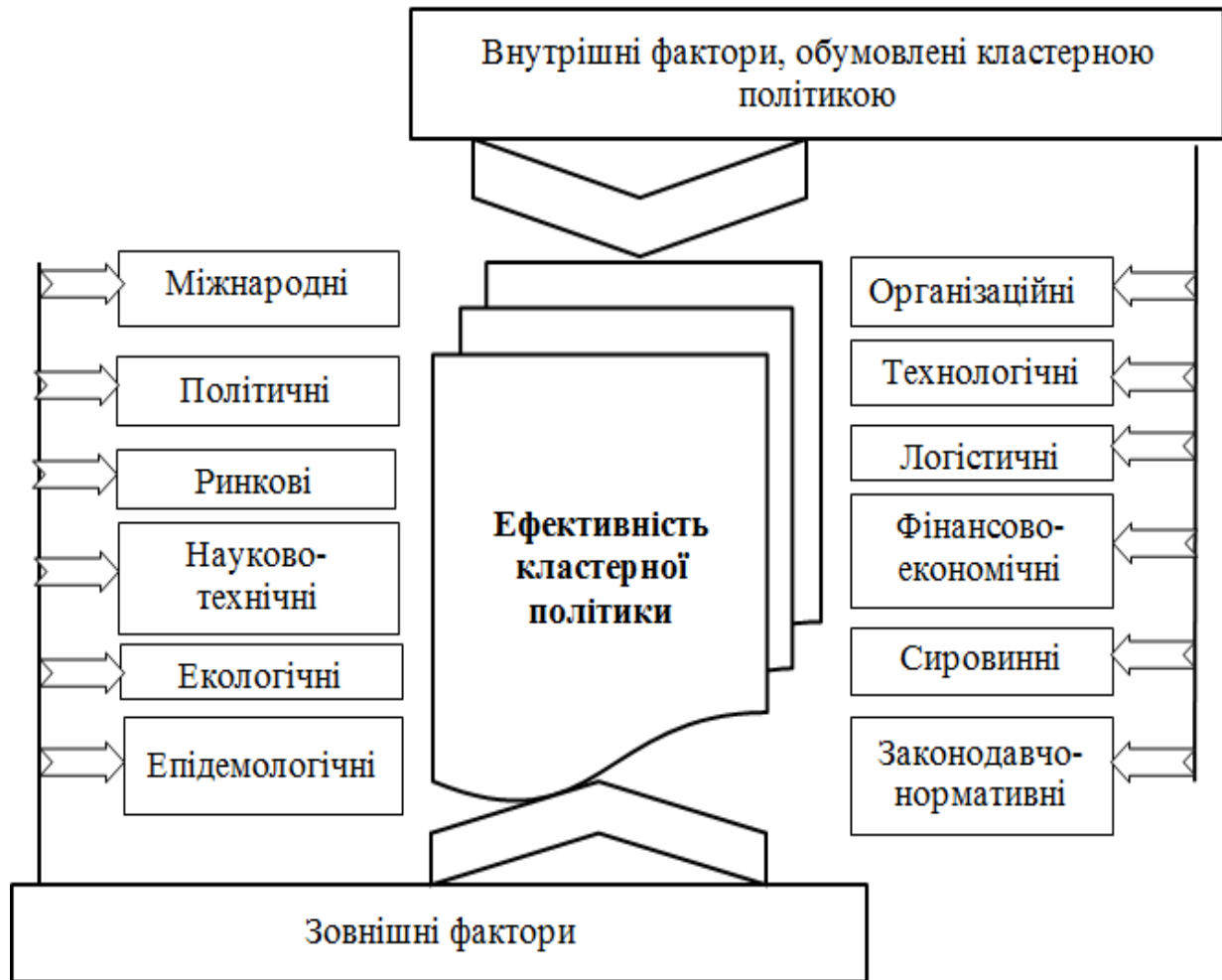


Рис. 1. Суттєві фактори, що здійснюють вплив на ефективність кластерної політики.

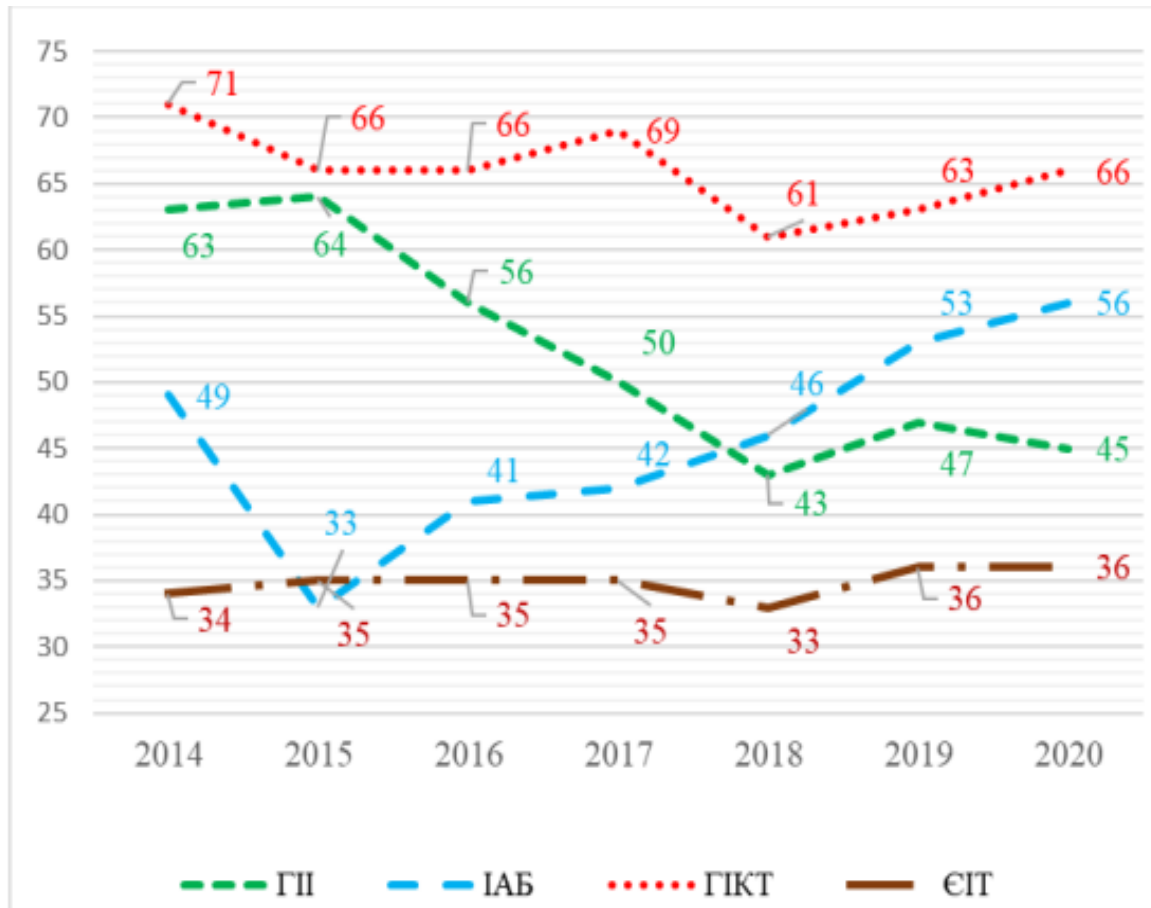
У XXI сторіччі Україна увійшла в епоху четвертої промислової революції. Цей період характеризується широким впровадженням ІКТ технологій. Країна переходить до освоєння технологій на основі цифровізації та взаємодії, таких як штучний інтелект (ШІ), інтернет речей, великі дані, блокчейн, п'яте покоління мобільного зв'язку (5G), 3D друк, гена інженерія, нанотехнології, тощо. Цей процес супроводжується зрощенням технологій, продуктів, галузей, інфраструктури, зміною економічної структури і має суттєві наслідки для збільшення нерівності порівняно з високотехнологічними країнами, які характеризуються науково-технічними факторами. Ці фактори характеризують технологічність економіки, тобто, її здатність виробляти готову продукцію з високою часткою доданої вартості та експортувати таку продукцію в результаті впровадження нових технологій. Успішні структурні зміни спричиняють перехід від низькотехнологічних, трудомістких видів діяльності до більш високотехнологічних і навпаки, неспроможність економіки до таких змін позбавляє країну шансів на успіх на десятиріччя. Висока частка середньовисоко- та високотехнологічної продукції у доданій

вартості характеризує інтенсивність технологічності з високим рівнем продуктивності, інновацій та технічного прогресу. Галузі і країни, які не здатні інтегруватися у глобальні ланцюги створення доданої вартості, не матимуть високої конкурентоспроможності.

Наукоємні види економічної діяльності, що витрачають значну частку своїх доходів на наукові дослідження, охоплюють як виробничий сектор, так і сферу послуг і включають два технологічних сектори – високо- і середньовисокотехнологічний. Аналіз середньої за 2017–2019 рр. наукоємності видів економічної діяльності свідчить, що в Україні критеріям високотехнологічності відповідає тільки діяльність з наукових досліджень і розробок. Ще шість відповідають критеріям низькосередньотехнологічності, всі інші ВЕД відносяться до низькотехнологічного сектору з максимальною наукоємністю у 0,3 – 0,4 %.

За даними Державної наукової установи "Український інститут науково- технічної експертизи та інформації" практично, всі види економічної діяльності світового середньовисокотехнологічного сектору в Україні є середньо- низькотехнологічними. У той же час, саме науково-технічні фактори визначають інноваційну спроможність України до освоєння передових технологій. Динаміка рейтингів України за чотирма підходами до оцінки спроможності до інновацій за 2014-2020 рр. свідчить про відсутність активної політики та проривів у підтримці інноваційної діяльності як державою, так і бізнесом (рис. 2) [9].

Як видно з рис.2, основою української інноваційної конкурентоспроможності є людський капітал, вища освіта, а також знання й результати наукових досліджень. Однак несприятливе середовище для ведення інноваційного бізнесу та неефективна фінансова система, недосконалі державні інституції заважають розкриттю підприємницького потенціалу та створюють перешкоди для комерціалізації інновацій. За групуванням країн Світовим банком Україна залишається протягом останнього десятиліття у групі країн з доходом нижче середнього [9]. Основними факторами, що сприяли цим процесам в Україні у третьому десятиріччі стали, насамперед, політичні фактори та криза, викликана пандемією COVID 2019. Епідеміологічний фактор спричинив суттєве уповільнення ділової активності та зменшення обсягів реалізації промисловими підприємствами високотехнологічного сектору, а також та частки валової доданої вартості в обсязі випуску продукції цього сектору. Негативний вплив спричинив спадний характер фінансування наукової діяльності – з 0,55% ВВП у 2015 р. до 0,41% ВВП у 2020 р. та значна частка передачі результатів наукових досліджень і технологій без оформлення прав інтелектуальної власності, що значно здешевлює результати наукової діяльності [9].



ГІІ- Глобальний інноваційний індекс; ІАБ-Інноваційний індекс Bloomberg, ГІКТ -Глобальний індекс конкурентоспроможності талантів; ЄІТ -Індекс Європейського інноваційного табло.

Рис. 2. Динаміка рейтингів України за чотирма підходами до оцінки спроможності до інновацій за 2014-2020 рр.

Технологічність економіки – це її здатність виробляти готову продукцію з високою часткою доданої вартості та експортувати таку продукцію в результаті впровадження нових технологій, організаційних, маркетингових, продуктових інновацій. Успішні структурні зміни спричиняють перехід від низькотехнологічних, трудомістких видів діяльності до більш високотехнологічних. Висока частка середньовисоко- та високотехнологічної продукції у доданій вартості характеризує інтенсивність технологічності з високим рівнем продуктивності, інновацій та технічного прогресу. Галузі і країни, які не здатні інтегруватися у глобальні ланцюги створення доданої вартості, не матимуть високої конкурентоспроможності і вимушені будуть піти з ринку. Що стосується внутрішніх факторів, то вони у значній мірі є наслідок впливу зовнішніх, від яких залежить сутність кластерної політики.

На відміну від внутрішніх факторів, зовнішні у найбільшій мірі дозволяють вирішувати завдання виконання прогнозів, оптимізації, розпізнавання образів і управління. В умовах недосконалої регіональної інноваційної системи та враховуючи цей фактор, для ефективності вирішення задач здійснення технологічного реінжинірингу промислового виробництва пропонуємо методику, яка поєднує Форсайт-прогнозування перспектив технологічного реінжинірингу підприємств з теорією штучних нейронних мереж. Використанням Форсайту у значній кількості країн світу визначаються пріоритети науки, техніки та інновацій. Цей метод зарекомендував себе, як найбільш ефективний метод для прогнозування напрямів подальшого розвитку країни у сфері науки та технологій. Дослідження майбутнього розвитку не є практикою, пов'язаною з його правильним чи неправильним розумінням. Остаточна мета досліджень майбутнього розвитку полягає в тому, щоб надати інформацію при прийнятті рішень шляхом дослідження майбутніх тенденцій та потенційних різких змін [10]. Методи, що використовуються в дослідженнях майбутнього розвитку, мають широкий діапазон, від уяви та відтворення до технічно складних досліджень тенденції та статистичним прогнозуванням [11]. Відмінність між дослідженнями майбутнього розвитку та форсайтом полягає в тому, що не всі методи аналізу майбутнього представлені в набір інструментів форсайту. Крім того, відмінності можуть бути знайдені серед різних інструментів. Бачення та форсайт, наприклад, є невзаємозамінними ідеями, які не є продуктами тієї ж розумової діяльності [12]. Бачення, в основному, є нерухомим чином майбутнього. Форсайт, заснований на припущеннях, які завжди розглядаються як ті, що є рухливими, має свої переваги як інструмент довгострокового планування. Він не здатний прогнозувати широту можливих сил, що можуть взяти участь у будь-якому моменті майбутнього, щоб допомогти у досягненні бажаного результату. Стратегічний форсайт не слід плутати з прогнозуванням, який може створювати вузьке уявлення про майбутнє. Замість створення прогнозів, що ґрунтуються на екстраполяції поточних тенденцій або частоті аналогічних подій у минулому (штучні нейронні мережі) форсайт швидше розвиває здатність передбачати альтернативне майбутнє та здатність візуалізувати різні можливі результати та їх наслідки. Форсайт часто розуміється як «здатність бачити те, що буде чи могло б статися в майбутньому» [13]. Форсайт є областю практики, а нещодавно він став новою академічною областю [14]. Ми бачимо форсайт як ефективний інструмент для вироблення кластерної політики, спрямованим на розробку платформи спільного навчання із постійною комунікацією між представниками бізнесу, науки та влади [13-14]. Форсайт, як відносно нова управлінська технологія, яка використовується на макро- та мікрорівні для активного конструювання майбутнього стану малих, середніх та великих соціально-економічних систем, є, на нашу думку, найбільш оптимальним інструментом якісного планування реінжинірингових перетворень. Як

всебічний і об'єктивний погляд в майбутнє, разом із штучними нейронними мережами він дозволяє виявити непомітні, або незначні тренди, які надалі визначатимуть стан та зміну середовищ. Для інноваційного кластеру форсайт та штучні нейронні мережі можна розглядати як інструмент управління стратегічною конкурентоспроможністю, який засновується на оцінці ретроспективи та передбаченні майбутніх змін на основі формування таких якісних характеристик функціонування кластеру, які дозволяють його підприємствам бути здатною до продукування нововведень на основі регіональної кластерної політики (рис. 2).

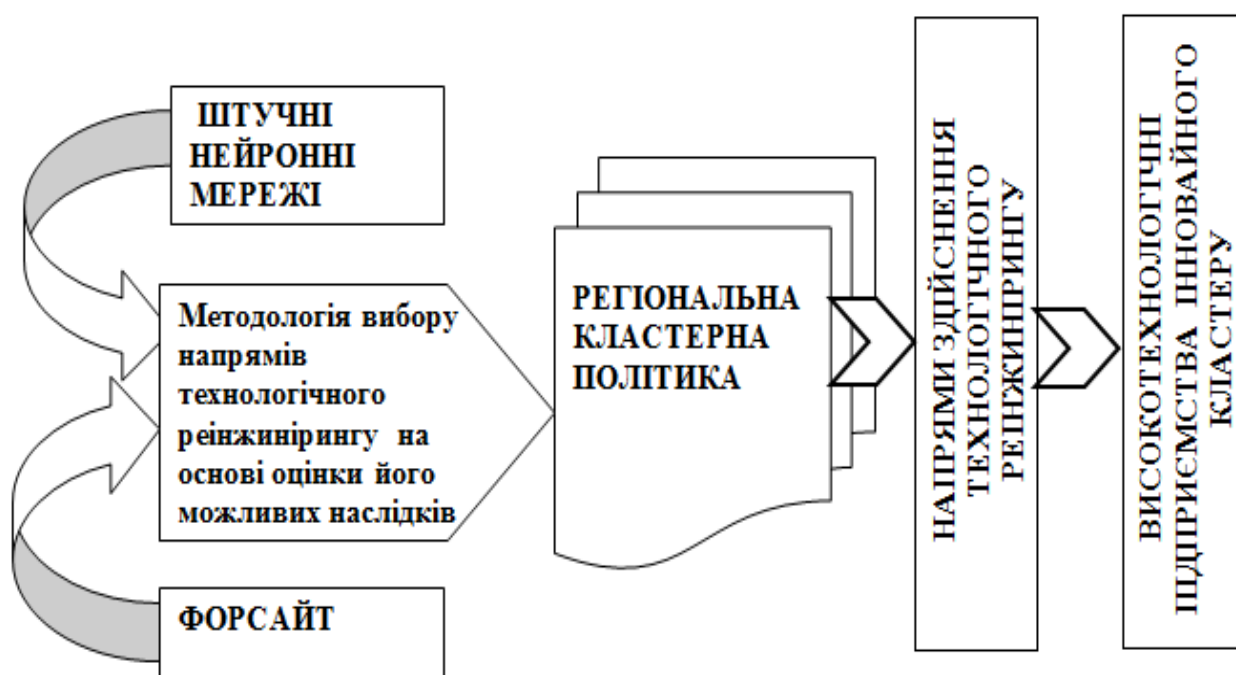


Рис.3. Механізм взаємодії штучних нейронних мереж і форсайт технологій.

Головною перевагою представленого на рис. 3 механізму взаємодії штучних нейронних мереж і форсайт методу у формуванні регіональної кластерної політики є економія часу для розробки та комерціалізації альтернативної технології. Слід мати на увазі, що самостійна розробка підприємством альтернативної технології має ряд проблем, які на етапі підготовки до технологічних перетворень не настільки очевидні. Це, насамперед, відсутність упевненості в тому, що розробка і впровадження нової альтернативної технології буде для підприємства комерційно успішним проектом. Значні витрати часу на організацію такої розробки та її комерціалізацію за експертними оцінками становить близько 4 – 6 років. Цей фактор часу не виключає можливість появи за цей час нових більш ефективних і більш конкурентоспроможних технологій та їх продуктів, тобто, існує істотна ймовірність того, що майбутня технологія, яка розробляється, виявиться морально застарілою ще до її реалізації.

Ці проблеми потребують перевірки щодо передбачення майбутніх змін та отримання впевненості у здатності альтернативних технологій до продукування нововведень. Саме ці міркування змушують безліч підприємств і навіть великі корпорації купувати ліцензії на використання нових технологій. Вони чітко розуміють, що життєвий цикл ринкової продукції може виявитись досить коротким і не потрібно втрачати час, тобто, слід швидше організувати виробництво й реалізацію цієї, поки ще необхідної споживачеві продукції. Об'єднання теорії форсайту із теорією штучних нейронних мереж в одній методології управління вибором напрямів технологічного реінжинірингу відкриває нові переваги у здійсненні інноваційних перетворень.

На початковому етапі технічної підготовки до проведення технологічного реінжинірингу деякі прогнози можна зробити зовсім не звертаючись до статистичних моделей і методів. Вони (якісні прогнози) можуть бути і так прозорі. Таким чином, якщо ситуація через зовнішні або внутрішні події на ринку кардинально не змінилась, то лише в цьому випадку має сенс звертатись до статистичних прогнозів, що ґрунтуються на досвіді діяльності даного підприємства або подібних підприємств-аналогів на даному ринку в попередній період часу.

При значних змінах на ринку багато методів прогнозу стають неприйнятними, але це не означає, що взагалі слід відмовитись від проведення прогнозу. Нехай це буде опитування експертів або аналіз подібних ситуацій у досить далекий період у діяльності підприємства, не суть важливо. Важливо те, що попередній прогноз кінцевих результатів інноваційних реінжинірингових перетворень виробничої бази підприємства завжди слід проводити кількома незалежними способами, спираючись на різні показники, згруповані в окремі масиви даних. Якщо виявиться значна невідповідність досить коректно проведених різнопланових прогнозів, то це слід розглядати як серйозний сигнал про виниклі дисбаланси, внутрішні напруги й уважно придивитись до наборів вихідних даних, що використані у прогнозі, і методів їх збору.

З іншого боку, інформація про результати прогнозу формує певну психологічну позицію співробітників і служб підприємства, а якщо про прогноз дізнається ринок, то реакція обізнаних людей і суб'єктів ринку здатна змінити ситуацію на ринку в той чи інший бік. Тому всі проведені прогнози повинні враховувати суб'єктивну складову внутрішнього і зовнішнього середовища підприємства (особливо це стосується великих підприємств) і можливий витік інформації.

В роботі [3,4] обґрунтовано, що чотири групи внутрішніх чинників містять близько двадцяти чинників, що могли б виступати в якості вхідних величин нейронної мережі. Очевидно, для синтезу нейронної мережі доцільно визначити на науковій основі ті з них, що суттєво впливають на показник енергоефективності. Такою науковою основою є широко

використовувані статистичні методи експертних оцінок, метод апріорного ранжування та кореляційного аналізу. З урахуванням вищенаведеного, пропонується наступний методичний підхід використання штучних нейронних мереж з використанням форсайт методу для визначення показника ефективності кластерної політики передбачає наступні кроки:

1. Формується експертна група з числа компетентних осіб, в склад якої залучаються працівники підприємств, науки і влади, що займаються формуванням проекту реінжинірингових перетворень на основі кластерної політики. Експертом має бути компетентна для вироблення оцінки особа, яка має спеціальний досвід в окреслених вище напрямках і яка бере участь в дослідженні. В якості експертів необхідно використовувати тих людей, чий судження допоможуть прийняттю адекватного рішення. Фахівець з розробки програми корінних технологічних перетворень – це високопрофесійний спеціаліст, який повинен володіти інженерними знаннями, станом науково-технологічних досягнень у певному сегменті ринку, методами аналізу та ефективного управління виробничими процесами, мати навички проведення інноваційних перетворень, виявляти і оцінювати суттєві і несуттєві фактори впливу, управляти інноваційно-інвестиційними проектами. При підборі експертів слід враховувати небезпеку особистої зацікавленості в тому чи іншому рішенні, який може стати суттєвою перешкодою для отримання об'єктивного рішення.

2. Виконується вибір системи показників та інтегрального показника ефективності проекту реінжинірингових перетворень на основі кластерної політики, як вихідного параметра нейронної мережі, побудованого з урахуванням форсайт індикаторів. Таким інтегральним показником, наприклад, можуть бути енергоємність, або матеріалоємність окремих підприємств кластеру та кластеру в цілому.

3. Експертною групою встановлюється раціональний набір чинників з відомими параметрами, що впливають на енергоємність (матеріаловіддача) кластерного утворення. Обрані чинники включаються в модель реінжинірингу. Для того щоб провести факторний аналіз показників необхідно створити багатofакторну модель. Сутність побудови моделі полягає у визначенні математичної залежності між чинниками.

4. Після ознайомлення із зазначеними чинниками експерти ранжують запропоновані чинники, за ступенем впливу на показник енергоємності (матеріаловіддачі), присвоюючи номер, згідно розташування взятих до розгляду чинників в порядку зростання впливу (пряме ранжування) або його зменшення (зворотне ранжування). Місце розташування чинника кожним експертом являє собою ранг у вигляді натурального числа.

5. Здійснюється за допомогою коефіцієнта конкордації Кенделла W [15] оцінка ступеня узгодженості думок експертів,

Для навчання нейронної мережі вибрано метод генетичних алгоритмів. Розглянемо більш детально цей метод. Їх особливістю є те, що до функції,

максимум або мінімум, яка шукається, не пред'являється абсолютно ніяких вимог. Вона може бути переривчастою, недиференційованою або складатися з часток, описуваних різними рівняннями. У будь-якому випадку, алгоритм дозволить знайти для неї оптимальне (або близьке до нього) значення. Генетичні алгоритми можуть бути використані для вирішення будь-яких завдань, які можна звести до задачі оптимізації проектних завдань. Сутність даного методу стосовно розв'язуваної в цій роботі завданню описана в [16-19]. Даний метод копіює закони селекції, які спостерігаються в природі. Кожна хромосома (рішення, послідовність, індивідуальність, "батько", "нащадок", "дитина") являє собою вектор з вагових коефіцієнтів, що подаються в бінарному коді та розташоване в строго визначеній послідовності (ваги зчитуються з нейронної мережі в установленому порядку - зліва направо і зверху вниз). Кожен ваговий коефіцієнт є «геном» хромосоми (Рис. 3). Набір «хромосом», що підлягають «попарному схрещуванню», представляє «популяцію». Еволюція популяцій - це чергування поколінь, в яких хромосоми змінюють свої ознаки, щоб кожна нова популяція найкращим способом пристосовувалася до зовнішнього середовища [20].

| w_{11} | | | ... | w_{ikn} | | | β_1 | | | ... | β_n | | | φ_1 | | | ... | φ_n | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|----|-----|-----------|----|---|-----------|---|----|-----|-----------|---|----|-------------|----|----|-----|-------------|---|----|---|---|---|----|---|----|----|----|---|---|----|---|
| 0 | 1 | .. | 1 | 0 | .. | 0 | 1 | 0 | .. | 1 | 0 | 0 | .. | 1 | .. | .. | .. | 1 | 1 | .. | 0 | 1 | 0 | .. | 1 | .. | .. | .. | 1 | 0 | .. | 1 |

Рис. 3. Хромосома нейронної мережі

Сукупність «хромосом» в популяції з стохастически певними значеннями «генів» є «батьками», кожен з яких має свій номер. Як і в природі, стохастично визначаються номери батьків, що схрещуються і номери позиції, за якими відбувається «схрещування». Початкова популяція вибирається випадково, значення ваг лежать в проміжку [0, 1]. При «схрещуванні» утворюється нова хромосома, що складається з частин хромосом батьків. Спосіб утворення нової хромосоми - «нащадку» різний: кросовер, інверсія, мутація, що реалізуються з імовірністю, близькою до тих, які спостерігаються в природі. Оператор мутації, подібно до мутацій в Природі, інтерпретується як заміна існуючого стану окремого гена в хромосомі на протилежне (одиниці – на нуль і навпаки). Залежно від того, в якому розряді фрагмента, що кодує змінну, відбудеться мутація, залежить величина відстані, що відокремлює потомка від батьків. Інверсія призводить до порушення порядку проходження фрагментів хромосом у потомка в порівнянні з батьківською хромосомою. Кросовер призводить до того, що хромосома потомка включає два фрагмента, один з яких належав раніше, умовно кажучи, батьківській хромосомі, а інший - материнській. Саме завдяки наявності кросоверних обмінів особини популяції обмінюються між

собою генетичною інформацією, тобто пошук набуває дійсно колективний характер.

Для кожної з «хромосом» розраховується вихідне значення нейронної мережі (в нашому випадку - значення інтегрального показника енергоємності кластерного утворення) і визначається за обраним критерієм близькість збігу результату зі статистичними значенням. З отриманої після серії схрещувань пар «хромосом» (після епохи навчання) виключається деяке число хромосом, що забезпечують найгірше значення критерію наближення розрахункового значення Y до статистичного, так, щоб зберіглося встановлене для популяції кількість хромосом.

Стохастичний процес схрещування багаторазово повторюється до тих пір, поки для аналізованих підприємств не буде підбрано таке поєднання значень вагових коефіцієнтів і коефіцієнтів зсуву, яке при розрахунку на статистичних даних вхідних чинників буде забезпечувати прийнятний збіг відповідних їм статистичних значень енергоємності.

Встановимо, за якими вимогами виконується вибір даних для синтезу та перевірки. Нейронна мережа навчається за допомогою заздалегідь відомих вихідних даних і результатів форсайту. Для керованого навчання мережі користувач повинен підготувати набір навчальних даних. Ці дані представляють собою приклади вхідних даних і відповідних їм виходів. Мережа навчається встановлювати зв'язок між першими і другими. Вхідні чинники визначаються на перших етапах розробленої методики методами статистичного аналізу. Зазвичай навчальні дані беруться з історичних відомостей, тобто з статистичних даних підприємств, які зібрані за декілька років та горизонту форсайт дослідження. Від якості вибірки залежить точність оцінок параметрів моделі і відповідно її результат. До вибірки пред'являється ряд вимог, які обумовлюють отримання адекватної моделі:

- розмір вибірки повинен бути достатнім для виявлення закономірностей (чим більше даних, тим менше буде похибка);
- однорідність вибірки, тобто дані у вибірці повинні підкорятися одним і тим же закономірностям;
- різноманітність даних, тобто повинна показувати результаті діяльності при всіх часах (інфляція, зріст, коливання курсу валют та інші змінення в зовнішньому та внутрішньому середовищі підприємства з урахуванням горизонту форсайту).

Вся числова інформація для нейромережевої обробки масштабується, тобто вирівнюються діапазони зміни величин, обмеживши їх інтервалом $[-1, 1]$, це досягається нормуванням, яке описано у даному підрозділі раніше.

При формуванні виборок для навчання та тестування пропонується взяти їх кількість в пропорції 70% для навчання нейронної мережі та на 30% для її тестування.

Навчання (синтез) нейронної мережі виконується за вибраним методом генетичного алгоритму. Процес навчання нейронної мережі являє собою уточнення і корекцію значень вагових коефіцієнтів. На вхід нейронної мережі подають вхідні значення, а на виході порівнюють значення мережі з реальним результатом, і в залежності від ступеня їх згідно генетичного алгоритму видаляють найгірші хромосоми, виконують схрещення, розраховують критерії помилки і порівнюють його із заданим. Ця операція повторюється багатократно десятки, іноді і сотні тисяч разів. Навчання нейронної мережі припиняється, коли мережа працює задовільно і помилка досягла певного рівня малості. Перевірка адекватності нейронної мережі здійснюється розрахунком показників енергоємності промислових підприємств, які не увійшли до навчальної вибірки.

Висновки з проведеного дослідження. Сучасні тенденції Форсайт-досліджень у сфері науки та технологій, що виявляються у багатьох країнах, чітко свідчать про поступове «вбудовування» Форсайту в систему науково-технічної політики. Водночас – насамперед завдяки стрімкому прогресу інтернету – прогностичні дослідження все ширше спираються на найрізноманітніші інформаційні ресурси та засоби їх аналізу, що створює основу для конвергенції кількісних та якісних методів Форсайту. Такі дослідження можна як інструментарій інноваційних проєктів, т.я. вони дають змогу спроектувати технології управління інноваціями у виробничій сфері підприємства. Це пов'язано насамперед з тим, що у проведенні Форсайт-дослідження особливу роль відіграють комунікації як у процесі проведення самого дослідження, і у процесі представлення отриманої інформації. Розвиток інструментарію, що дозволяє ефективно взаємодіяти учасникам інноваційного процесу, є найважливішим завданням проєктів, а Форсайт дозволяє вирішувати це завдання з точки зору стратегічного прогнозування. Все це допомагає створити сприятливі умови для практичного перетворення Форсайту на інструмент науково-технічної та інноваційної політики, орієнтованої на довгострокову перспективу.

Список використаної літератури:

1. Хайкин С. Нейронные сети, полный курс. 2-е изд. М.: Вильямс, 2008. 1103 с.
2. Бакулєвський В. Л. Застосування нейронних мереж для розрахунків технічних втрат електроенергії в повітряних лініях електропередач напругою 6-35 кВ. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2015. Вип. 30. Т. 2. С. 152–160.
3. Клепикова С. В. Применение нейронных сетей в управлении энергоэффективностью предприятия. Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. К.: КНЕУ. 2018. № 7. С. 127-147.
4. Клепикова С. В., Клепиков В. Б. К использованию метода нейронных сетей для решения экономических задач. Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2005. Вип. 31. С. 59–66.
5. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія. Київ: КНЕУ, 2011. 439 с.

6. Терехов В. И., Жуков Р. В. Методика подготовки данных для обработки импульсными нейронными сетями. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2017. № 2. С. 31–36.
7. Лічко К. П. Прогнозування та планування розвитку агропромислового комплексу. 3-е вид. М.: Економіка, 2013. 412 с.
8. Кеннет Ли, Антилл Ник. Оценка компаний: Анализ и прогнозирование с использованием отчетности по МСФО. Москва, Альпина Паблишер, 2017. 440 с.
9. Стан науково-інноваційної діяльності в Україні у 2020 році: науково-аналітична записка Т. В. Писаренко, Т. К. Куранда, Т. К. Кваша та ін. К.: УкрІНТЕІ, 2021. 39 с.
10. Сергеев Н. Н. Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий : монография. Ижевск: Удмуртский университет, 2013. 116 с.
11. ДСТУ ISO/IEC 13273-1:2017 (ISO/IEC 13273-1:2015) Енергоефективність і поновлювані джерела енергії. Загальна міжнародна термінологія. Частина 1. Енергоефективність. [Чинний від 2018-06-01]. Київ, 2017. 17 с.
12. Зарицька О. Л. Економічне оцінювання інноваційної енергозберігаючої продукції підприємств машинобудування : автореф. дис. кандидата економічних наук : 08.00.04. Львів, 2010. 24 с.
13. Форсайт в Україні у 2019-2020 рр.: бачення експертів щодо пріоритетних напрямів науки і технологій в Україні для реалізації Цілей сталого розвитку: монографія. Т. В. Писаренко, Т. К. Кваша, О. Ф. Паладченко, Л. В. Рожкова та ін. – К.: УкрІНТЕІ, 2020. 214 с.
14. Європейська Комісія, «Сприяння загальноєвропейському форсайту підходи», сайт досліджень та інновацій Європейської комісії. URL: http://ec.europa.eu/research/social-sciences/fwl-platform3_en.html.
15. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.
16. Соломка Ю. И. Применение генетических алгоритмов для обучения нейронных сетей. Четверта міжнародна студентська науково-практична конференція "Світ молоді - молодь світу". 15-17 2004 рік: матеріали конференції. Вінниця : ВІ МАУП, 2004. С. 85–90.
17. Wu W., Guozhi W., Yuanmin Z., Hongling W. Genetic Algorithm Optimizing Neural Network for Short-Term Load Forecasting. *International Forum on Information Technology and Applications*. 2009. P. 583–585.
18. Jinru L., Yibing L., Keguo Y. Fault Diagnosis of Piston Compressor based on Wavelet Neural Network and Genetic Algorithm. *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*. 2008. P. 606–610.
19. Tang C., He Y., Yuan L. A Fault Diagnosis Method of Switch Current Based on Genetic Algorithm to Optimize the BP Neural Network. *International Conference on Electric and Electronics*. 2011. Vol. 99. P. 943–950.
20. Махотило К. В. Диплоидный генетический алгоритм со смертностью. Проблемы управления и информатики. 2011. № 3. С. 138–150.
21. Аллан Даль Андерсен и Пер Даннеманд Андерсен. Инновационные системы форсайта: Толкование и Систематизирование Фондов инновационных систем форсайта и исследования его значения. Дания: Технический университет Дании, 2012г. С. 3.
22. Лайош Нийри. Форсайт как инструмент выработки политики. В Технологическом форсайте для организаторов. Бразилия: Центр стратегических исследований и управления, 2003. А10.
23. Форсайт как инструмент стратегического долгосрочного планирования для развивающихся стран. 2014 UNDP Global Centre for Public Service Excellence #08-01, Block A, 29 Heng Mui Keng Terrace, 119620 Singapore. URL: www.undp.org/publicservice twitter.com/UNDPpublicserv [www.fb.com/GCPSEunteamworks.org/node/421576](https://www.facebook.com/GCPSEunteamworks.org/node/421576) (дата доступу 20.07.2022)
24. Ашис Нэнди. Являясь свидетелем будущего. Анализ будущего. 1996. 28, № 6-7. 636-7.
25. Франс Беркхаут и Джулия Хертин. Сценарии анализа будущего форсайта: Разработка и применение интерактивного инструмента стратегического планирования. *Greener Management International* 37. 2002. 39 с.

References:

1. Hajkin S. *Nejronnye seti, polnyj kurs*. 2-e izd. M. Vilyams, 2008. 1103 s.
2. Bakulevskij V. L. Zastosuvannya nejronnih merezh dlya rozrahunkiv tehnicnih vtrat elektroenergiyi v povitryanih liniyah elektroperedach naprugoyu 6-35 kV. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu*. Seriya: Tehnicni nauki. 2015. Vip. 30. T. 2. S. 152–160.
3. Klepikova S. V. Primenenie nejronnyh setej v upravlenii energoeffektivnostyu predpriyatiya. *Nejro-nechitki tehnologiyi modelyuvannya v ekonomici*. K. KNEU. 2018. № 7. S.127-147.

4. Klepikova S. V., Klepikov V. B. K ispolzovaniyu metoda nejronnyh setej dlya resheniya ekonomicheskikh zadach. Visnik NTU «HPI». H. NTU «HPI». 2005. Vip. 31. S. 59–66.
5. Matvijchuk A. V. Shtuchnij intelekt v ekonomici: nejronni merezhi, nechitka logika: monografiya. Kiyiv. KNEU, 2011. 439 s.
6. Terehov V. I., Zhukov R. V. Metodika podgotovki dannyh dlya obrabotki impulsnymi nejronnymi setyami. Nejrokomp'yutery: razrabotka, primenenie. 2017. № 2. S. 31–36.
7. Lichko K. P. Prognozuvannya ta planuvannya rozvitku agropromislovogo kompleksu. 3-e vid. M. Ekonomika, 2013. 412 s.
8. Kennet Li. Antill Nik. Ocenka kompanij: Analiz i prognozirovanie s ispolzovaniem otchetnosti po MSFO. Moskva, Alpina Publisher, 2017. 440 s.
9. Stan naukovno-innovacijnoyi diyalnosti v Ukraini u 2020 roci: naukovno-analichna zapiska T.V. Pisarenko, T.K. Kuranda, T.K. Kvasha ta in. K. UkrINTEI, 2021. 39 s.
10. Sergeev N. N. Metodologicheskie aspekty energosberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti promyshlennyh predpriyatij: monografiya. Izhevsk. Udmurtskij universitet, 2013. 116 s.
11. DSTU ISO/IEC 13273-1:2017 (ISO/IEC 13273-1:2015) Energoefektivnist i ponovlyuvani dzherela energiyi. Zagalna mizhnarodna terminologiya. Chastina 1. Energoefektivnist. [Chinnij vid 2018-06-01]. Kiyiv, 2017. 17 s.
12. Zarička O. L. Ekonomichne ocinyuvannya innovacijnoyi energozberigayuchoyi produkciji pidpriyemstv mashinobuduvannya: avtoref. dis. kandidata ekonomichnih nauk: 08.00.04. Lviv, 2010. 24 s.
13. Forsajt v Ukraini u 2019-2020 rr.: bachennya ekspertiv shodo prioritetnih napryamiv nauki i tehnologij v Ukraini dlya realizaciyi Cilej stalogo rozvitku: monografiya. T. V. Pisarenko, T. K. Kvasha, O. F. Paladchenko, L. V. Rozhkova ta in. K. UkrINTEI, 2020. 214 s.
14. Yevropejska Komisiya, «Spriyannya zagalnoyevropejskomu forsajtu pidhodi», sajт doslidzhen ta innovacij Yevropejskoyi komisiyi. Available at: http://ec.europa.eu/research/social-sciences/fwl-platform3_en.html.
15. Beshelev S. D., Gurvich F. G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnyh ocenok. M. Statistika, 1980. 263 s.
16. Solomka Yu. I. Primenenie geneticheskikh algoritmov dlya obuche-niya nejronnyh setej. Chetverta mizhnarodna studentska naukovno-prak-tichna konferenciya "Svit molodi - molod svitu". 15-17 2004 rik: materialy konferenciyi. Vinnicya. VI MAUP, 2004. S. 85–90.
17. Wu W., Guozhi W., Yuanmin Z., Hongling W. Genetic Algorithm Optimizing Neural Network for Short-Term Load Forecasting. International Forum on Information Technology and Applications. 2009. P. 583–585.
18. Jinru L., Yibing L., Keguo Y. Fault Diagnosis of Piston Compressor based on Wavelet Neural Network and Genetic Algorithm. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2008. P. 606–610.
19. Tang C., He Y., Yuan L. A Fault Diagnosis Method of Switch Current Based on Genetic Algorithm to Optimize the BP Neural Network. International Conference on Electric and Electronics. 2011. Vol. 99. P. 943–950.
20. Mahotilo K. V. Diploidnyj geneticheskij algoritm so smertnostyu. Problemy upravleniya i informatiki. 2011. № 3. S. 138–150.
21. Allan Dal Andersen i Per Dannemand Andersen, Innovacionnye sistemy forsajta: Tolkovanie i Sistematizirovanie Fondov innovacionnyh sistem forsajta i issledovaniya ego znacheniya. Daniya. Tehnicheskij universitet Danii, 2012g. P. 3.
22. Lajosh Nijri. Forsajt kak instrument vyrabotki politiki. V Tehnologicheskome forsajte dlya organizatorov. Braziliya. Centr strategicheskikh issledovanij i upravleniya, 2003g. A10.
23. Forsajt kak instrument strategicheskogo dolgosrochnogo planirovaniya dlya razvivayushihnya stran. 2014 UNDP Global Centre for Public Service Excellence #08-01, Block A, 29 Heng Mui Keng Terrace, 119620 Singapore. Available at: www.undp.org/publicservice twitter.com/UNDPpublicserv [www.fb.com/GCPSEunteamworks.org/node/421576](https://www.facebook.com/GCPSEunteamworks.org/node/421576) (data dostupu 20.07.2022)
24. Ashis Nendi. Yavlyayas svidetelem budushego. Analiz budushego. 1996. 28, № 6-7. 636-7.
25. Frans Berkhaut i Dzhuliya Hertin. Scenarii analiza budushego forsajta: Razrabotka i primenenie interaktivnogo instrumenta strategicheskogo planirovaniya. Greener Management International 37. 2002. 39 s.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2022 р.