

УДК 339.92

DOI: <https://doi.org/10.32782/СМІ/2022-3-11>

Нікітін Д.В.

аспірант кафедри міжнародного обліку та аудиту,
ДВНЗ «Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана»

СВІТОВІ ПРОМИСЛОВІ РЕВОЛЮЦІЇ ЯК ОСНОВА НАНОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

В сучасних умовах функціонування світового господарства наноіндустріалізація вимагає формування адекватних їй економічних і соціальних відносин, а також регулювання ринкового обігу товарів з особливими наноознаками. Обґрунтування науковцями потребують глибокого методологічного узагальнення через призму еволюційного поступу промислових революцій. Четверта промислова революція здатна найбільш повно розкрити природу, рушійні сили та векторну спрямованість нанотехнологічних трансформацій глобального виробництва. Очевидно, що нанотехнології демонструють епохальну інновацію, здатну надавати останнім принципово нових, а у багатьох випадках й унікальних хіміко-фізичних і біологічних властивостей. Це набуде свого концентрованого втілення у докорінних змінах науково-технологічного ресурсу національних економік та їх конкурентної диспозиції на різних сегментах глобального ринку.

Ключові слова: промислова революція, нанотехнології, глобалізація, індустрія 4.0, трансформація.

Nikitin Dmytro

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

WORLD INDUSTRIAL REVOLUTIONS AS THE BASIS OF NANOTECHNOLOGICAL TRANSFORMATIONS

In modern organizational, economic and institutional conditions of the world economy, nanoindustrialization objectively requires society to form adequate economic and social relations, market institutions and technological methods of production, the level of differentiation of social and labor relations, implementation mechanisms and forms of management, accounting and control of transaction costs of production, as well as regulation of market turnover of goods with special nano-features. It is important to note that the reasons for the wave-like nature of the world scientific and technological process substantiated by Western scientists, in the context of understanding the philosophy of nanoindustrialization processes, require deep methodological generalization through the prism of evolutionary progress of industrial revolutions. The fourth industrial revolution is able to fully reveal the nature, driving forces and vector orientation of nanotechnological transformations of global production from modern methodological positions. The point is that nanotechnology fits into the next (after information technology and biotechnology), stage of development of industrial revolutions. Therefore, the socio-economic and scientific-technical results of their implementation in world social practice in their scale and degree of impact will certainly be radical. It is already becoming clear that nanotechnology demonstrates epoch-making innovation, capable of providing the latter with fundamentally new and in many cases unique chemical and physical (mechanical, electrical, magnetic, optical, etc.) by building specially formed nanostructures and controlled recombination of familiar objects and material structures and biological properties. This will be concentrated not only in the emergence of some kind of remote socio-economic effects, but in radical changes in scientific and technological resources of national economies and their competitive disposition in different segments of the global market.

Keywords: industrial revolution, nanotechnologies, globalization, industry 4.0, transformation.

Постановка проблеми. За своєю сутнісною природою зазначені процеси передбачають глибокі структурні трансформації світового господарства з розбудовою якісно нових його компонентів і взаємозв'язків між ними, що свідчить про перехід міжнародної економічної системи на вищий щабель інноваційного розвитку. Матеріальною основою подібного роду трансформаційних змін є циклічна зміна промислових революцій, під якими ми розуміємо сукупність технічних, технологічних, соціально-економічних й інституційних змін, що спричиняють перехід капіталістичного способу виробництва на якісно нову технологічну основу способом докорінних змін у техніці і технології, системах організації й управління виробництвом, а також удосконалення засобів виробництва, системи виробничих відносин і соціальної структури суспільства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці трансформаційних змін, що викликані циклічними змінами промислових революцій приділено

увагу багатьох як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Серед яких можемо відзначити К. Шваб, Р. Фейнман, М. Андерсен, Н. Линдер, І. Тарасов, К. Павлов, С. Іванов, В. Карасюк.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є узагальнення промислових революцій та виділення основних рис Індустрії 4.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. Не випадково, кожна промислова революція зароджувалась, як ми знаємо, на хвилі радикальних інновацій, котрі, кидаючи виклик застарілим елементам технологічного способу виробництва, були ключовим драйвером структурної модернізації світової економічної системи та її збагачення якісно новими техніко-технологічними й інноваційними компонентами. І хоча соціальний попит на подібного роду радикальні інновації з'являється, головним чином, у періоди соціально-економічних криз, життєвий цикл кожної промислової революції триває до тих пір, поки зберігаються

ресурсні можливості для прибуткових інвестиційних капіталовкладень у розширення її базових виробництв, причому спочатку у національних, а згодом – і міжнародних масштабах. При цьому у міру переходу від однієї промислової революції до іншої спостерігається значне скорочення періоду їх домінування, що обумовлено як значним прискоренням світового науково-технологічного прогресу, так і загальним скороченням тривалості науково-виробничих циклів.

Важливо зазначити, що обґрунтовані західними науковцями причини хвилеподібності світового науково-технологічного процесу, у контексті розуміння філософії розвитку процесів наноіндустріалізації, потребують глибокого методологічного узагальнення через призму еволюційного поступу промислових революцій. За влучним висловом Ф. Енгельса, «промисловою революція має таке ж значення для Англії, як політична – для Франції», коли «найважливішим дітищем даного промислового перевороту є зародження англійського пролетаріату». В аналізі ж соціальних наслідків промислової революції в Англії основна увага Ф. Енгельса прикута до положення робітничого класу у суспільстві під впливом активного розвитку цієї держави у період 1830–1840-х років робітничого руху та чартизму як першого в історії масового й політично оформленого пролетарського революційного руху.

На новий теоретичний рівень дану наукову проблему було піднесено ученими вже у ХХ ст., хоча і з суттєвими відмінностями щодо трактування сутності промислових революцій та об'єктивних передумов циклічності їх еволюційного поступу. Зокрема, у працях всесвітньо визнаного ученого-економіста М. Кондратьєва уперше було виявлено наявність тісного взаємозв'язку між статичним і циклічно-динамічним розвитком економічної системи, а також визначено ключову роль інновацій у зміні великих кон'юнктурних циклів та об'єктивну незворотність кризових етапів у структурній динаміці економічних циклів. Вагомою для світової науки заслугою ученого є обґрунтування ним визначального впливу на суспільний розвиток нагромадження у господарській системі критичної маси базових інновацій, котрі, навіть не маючи раніше застосування, у міру створення адекватних макроекономічних передумов для їх впровадження у масове виробництво спричиняють «значну зміну основних умов господарського життя суспільства які матеріалізуються у глибоких змінах техніки виробництва й обміну, яким, своєю чергою, передують значні технологічні винаходи і відкриття». По суті це означає акумуляцію економічних ресурсів, необхідних для розгортання виробництва у період економічного піднесення, у формі інноваційної чи інтелектуальної ренти.

З історії ми знаємо, що еволюційний розвиток промислових революцій охоплює чотири етапи, кожен з яких характеризується притаманними лише йому технологічним способом виробництва, техніко-економічними й організаційно-економічними відносинами, відносинами спеціалізації і кооперування виробництва, механізмами нагромадження і концентрації капіталу, виробничими відносинами і відносинами власності (табл. 1). У своїй сукупності зазначені структурні компоненти промислових революцій, на усіх етапах їх еволюційного розвитку завжди визначали, як ми можемо бачити, секторальну структуру глобального

виробництва, його домінуючі підсистеми і характер взаємозв'язків між ними, організаційні форми господарської культури, інфраструктурне й інституційне забезпечення виробничих відносин, діючі вимоги до професійних компетенцій працівників, пануючі режими й умови праці, а також форми організації виробництва, розподілу, обміну і споживання товарів.

Доцільно зауважити, що обґрунтована К. Швабом наукова ідея четвертої промислової революції (що стартувала у 2011 р. і триває дотепер) є, з одного боку, глибоко концептуальною, оскільки формує загальне розуміння фундаментальних трансформаційних змін у світогосподарській системі, пов'язаних з інноваційними розробками у сфері роботизації, промислового інтернету речей, інформатизації, кібербезпеки, хмарних технологій, автоматизації виробництва, розбудови екосистем штучного інтелекту, блокчейну, доповненої реальності, аналітики великих даних, формування «розумних» електромереж, впровадження кіберфізичних систем у заводські процеси та ін. Останні, як передбачається, об'єднуються в єдину глобальну мережу, будуть взаємодіяти одна з одною в онлайн-режимі, організовувати виробничі процеси з меншою кількістю помилок, самоналаштовуватись і навчатись новим поведінковим моделям, а також взаємодіяти з товарами й адаптуватись під формування якісно нових потреб і запитів споживачів.

Ідея четвертої промислової революції демонструє чітко виражені інституційні риси, формуючи методологічне підґрунтя для розроблення і впровадження державним і бізнесовим секторами низки політичних та інституційно-регуляторних ініціатив у царині всебічної підтримки програм досліджень і розробок. І хоча дотепер світове господарство все ще функціонує у домінуючій парадигмі третьої промислової революції, однак вже сьогодні, як наголошує К. Шваб, дедалі більшою мірою викристалізовується тренд її поступової трансформації у четверту промислову революцію, іманентною ознакою якої є «переплетення, нашарування та взаємопосилення» «технологій зі світу фізики, біології та цифрових реалій». Варто додати, що Індустрія 4.0 спричиняє не тільки всеохоплюючу і динамічну дифузії технологічних інновацій на рівні усіх структурних ланок процесу суспільного відтворення, але й їх глибоку інтеграцію у глобальні вартісні ланцюги в силу «народження нових бізнес-моделей, руйнуючого впливу на традиційні компанії, а також докорінних трансформацій систем виробництва, споживання, транспортування і постачань». Таким чином, досягнутий державами прорив у галузі високих технологій та динамічна розбудова ними інноваційної моделі економічного розвитку у форматі Індустрії 4.0 випливає з самих технологічних характеристик четвертої промислової революції та є закономірним результатом використання країнами її ключових конкурентних переваг, а саме:

– цифровізації і вертикальної інтеграції виробничих процесів у рамках усієї організації та за усіма ланками сформованих нею вартісних ланцюгів (від розроблення продуктів і закупівель до виробництва, логістики і сервісного обслуговування) з їх оптимізацією під різні платформи, забезпеченням повної доступності в режимі онлайн інформації щодо ключових параметрів корпоративних операційних процесів,

Таблиця 1

Еволюція розвитку промислових революцій

Промислова революція, період панування	Характеристика	Автори концепції
Індустрія 1.0 1760-ті – 1840-ві роки	Аграрний переворот в Англії, витіснення англійських селян з земель, їх активний переїзд у міські агломерації і поповнення лав дешевої робочої сили; винайдення прядильної машини та механічного ткацького верстата, що стало головним драйвером переходу англійської текстильної промисловості від ручної до механізованої праці на основі інноваційних винаходів; зростання попиту на дешеві джерела енергії та масштабна дифузія досягнутих технологічних здобутків у межах економіки Англії; винайдення парової машини, яке започаткувало еру промислового освоєння інноваційних на той час методів добування кам'яного вугілля та виробництва чавуну і сталі та ін.	А. Сен-Симон, К. Маркс, Ф. Енгельс, Й. Шумпетер, Г. Гіббінс, І. Кулішер та ін.
Індустрія 2.0 1870-ті – 1920-ті роки	Кардинальні структурні зрушення в енергетичному і матеріально-ресурсному базисі індустріальної економіки на основі удосконалення конструкцій парових двигунів, багаторазового підвищення їх потужності, а також системного впровадження у суспільне виробництво теплової генерації електроенергії, гідравлічних і парових турбін; широке промислове застосування технологій крекінгу нафти та винайдення двигуна внутрішнього згорання; докорінна зміна структури світового паливно-енергетичного балансу, формування якісно нових секторів національних економік країн; революційні зміни у світовому транспортному комплексі та засобах зв'язку; розбудова і системна модернізація національних транспортних систем держав; суттєве зниження вартості морських перевезень; перерозподіл світової економічної влади на користь держав західної цивілізації та ін.	Дж. Мокір, К. Зубков, Р. Х. Штроц, Р. Блум, Б. Крапстер, Х. Данкельберг, Ч. Глатфельтер, Н. Річардсон, Н. Шубарт, Р. Камерон та ін.
Індустрія 3.0 1960 р. – 2010 р.	Досягнення квантової електроніки та інформаційних технологій; динамічне поширення у світовому виробництві промислових роботів, електронно-обчислювальної техніки й автоматизованих систем управління виробництвом; активний розвиток засобів зв'язку і програмування логічних контролерів, створення мереж персональних комп'ютерів та поява перших модифікацій мобільних телефонів; руйнування вертикальних зв'язків великих корпоративних структур та їх переведення у горизонтальну площину; докорінна зміна традиційних централізованих бізнес-моделей; панування горизонтально організованих моделей взаємодії економічних суб'єктів, здатних в автономному режимі генерувати зелену енергію й обмінюватись нею каналами енергетичного інтернету та ін.	Дж. Ріфкін
Індустрія 4.0 2011 р. – дотепер	Цифровізація і вертикальна інтеграція виробничих процесів у рамках усієї організації та за усіма ланками сформованих нею вартісних ланцюгів; цифровізація і горизонтальна інтеграція кількох вартісних ланцюгів з виходом інтеграційних процесів за рамки однієї організації, долученням до них постачальників, споживачів й усіх ключових партнерів; цифровізація товарів і послуг способом їх доповнення інтелектуальними датчиками і засобами зв'язку; впровадження компаніями цифрових бізнес-моделей та розроблення комплексних технологічних рішень у межах цифрових екосистем, здатних суттєво розширити спектр пропонованих ними товарів і послуг; технологічна платформізація бізнесу; злиття технологій та «розмивання» бар'єрів між фізичними, цифровими і біологічними світами та ін.	К. Шваб

Джерело: узагальнено і складено автором

а також тісною взаємодією інформаційно-комунікаційних технологій і виробничих систем;

– цифровізації і горизонтальної інтеграції кількох вартісних ланцюгів з виходом інтеграційних процесів за рамки однієї організації; цифровою інтеграцією в єдину екосистему усіх структурних підрозділів компаній, зовнішніх партнерів, постачальників, виробників оригінального обладнання і споживачів; наскрізною діджиталізацією усіх наявних у них фізичних активів та застосуванням інструментів інтегрованого планування з обов'язковим урахуванням при цьому виробничих можливостей компаній-партнерів;

– цифровізації товарів і послуг на основі вбудовування сенсорів, інтелектуальних датчиків і засобів зв'язку у компоненти продукції і виробниче обладнання із застосуванням при цьому кіберфізичних систем; об'єднання в єдину систему сенсорів, виробничого обладнання і IT-технологій за усіма ланками глобальних вартісних ланцюгів, що дає змогу компаніям-виробникам накопичувати інформаційну базу

щодо особливостей споживання їх продукції та існуючих недоліків товарів і послуг з метою їх подальшого удосконалення у відповідності до потреб і запитів споживачів;

– впровадження компаніями цифрових бізнес-моделей, здатних суттєво розширити спектр пропонованих ними товарів послуг на основі розроблення принципово нових – революційних – цифрових рішень у сфері виробництва і збуту продукції з використанням інтегрованих платформ;

– переходу економічних суб'єктів до впровадження цифрових бізнес-моделей та розроблення комплексних технологічних рішень у межах цифрових екосистем, що забезпечують не тільки отримання компаніями додаткових доходів, але й значне удосконалення діючих корпоративних систем їх взаємодії з клієнтами та розширення доступу останніх до вироблених компаніями товарів і послуг;

– технологічної платформізації бізнесу на основі використання компаніями й різного роду бізнес-струк-

турами високотехнологічних машин і обладнання, інформаційно-комунікаційних технологій і кіберфізичних систем, здатних забезпечити високий рівень їх цифровізації й інтеграції у єдиний виробничий процес [1; 2; 3, р. 165–169; 4, р. 10–14].

При цьому, як засвідчують оцінки авторитетних міжнародних експертів, вже у найближчі десятиліття ключову роль у глобальному науково-технологічному прогресі, подоланні світової бідності та вирішенні найгостріших глобальних проблем людства відіграватимуть нанотехнології [5; 6; 7; 8; 9; 10]. У цьому зв'язку маємо зазначити, що історія нанотехнологічних інновацій бере свій початок ще у далекому 1959 р., коли американський фізик, лауреат Нобелівської премії Р. Фейнман у своїй теоретичній доповіді на щорічній зустрічі Американського фізичного товариства у стінах Каліфорнійського технологічного інституту висловив абсолютно неймовірне припущення щодо можливостей створення нанорозмірних об'єктів, матеріалів і пристроїв.

Як результат трансдисциплінарних наукових досліджень (на перетині фізики, хімії, біології, медицини і матеріалознавства, інформаційних технологій і напівпровідників), нанотехнології репрезентують сукупність методів і прийомів контрольованого створення нових і модифікації існуючих матеріальних об'єктів, що включають компоненти розміром не більше 100 нм (хоча б в одному з вимірів) та набувають якісно нових техніко-технологічних, функціональних, експлуатаційних та споживчих характеристик, здатних забезпечити їх глибоку інтеграцію у повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу. Наголосимо, що зазначені об'єкти у більшості випадків являють собою наноструктуровані на поверхні чи в об'ємі складні макро- чи мікрочастинки, котрі за сферами застосування та механізмами залучення у глобальне суспільне виробництво володіють явно вираженим позаконкурентним статусом. Він обумовлений трьома найважливішими характеристиками наноматеріалів: по-перше, їх супермініатюризацією, що дає змогу наноструктурам на одиниці площі розмістити значно більшу, порівняно з іншими матеріалами, кількість функціональних пристроїв, а отже – працювати у недоступних для інших технологій сферах; по-друге, суттєво більшою площею поверхні наноматеріалів, яка прискорює їх взаємодію з середовищем, в яке вони поміщені; по-третє, унікальними фізико-хімічними властивостями наночастинок та відсутністю у них структурних дефектів, що впливають з їх близьких до квантових розмірів та дають можливість використовувати процеси самоорганізації наноречовин для формування спеціальних структур.

Варто наголосити, що висока структурна динаміка розвитку нанотехнологічного сегменту глобального ринку та його глибоке «вбудовування» в економічні системи цілих держав і регіонів стали матеріальною основою виокремлення у структурі глобального виробничого комплексу такого самостійного й відносно автономно функціонуючого сегменту як наноіндустрія. У своєму загальному інституційному форматі вона репрезентує ніщо інше як інтегрований на горизонтальному і вертикальному рівнях міжсекторальний комплекс виробничих, науково-дослідних й освітніх організацій різних форм власності, котрі у рамках різних наукових дисциплін, однак на основі єдиного підходу

до розгляду матерії на атомно-молекулярному рівні, провадять цілеспрямовану діяльність щодо створення і комерціалізації конкурентоспроможної наукомісткої продукції нанорозмірного рівня різної фізико-хімічної та біологічної природи, з високим рівнем доданої вартості та унікальними техніко-технологічними, економічними, функціональними й експлуатаційними характеристиками, недосяжними для товарів-аналогів та товарів-субститутів.

Звернімо увагу на те, що наноіндустрія є матеріальним базисом масштабних і всеохоплюючих процесів наноіндустріалізації, під якою ми розуміємо один з ключових напрямів неоіндустріалізації. Як відомо, неоіндустріалізація являє собою другий етап індустріалізації національних економік країн, що базується на повномасштабній автоматизації й електронізації матеріального виробництва, його креативізації й інновацізації та має своїм закономірним результатом панування інтелектуальної праці і досягнення економікою технотронного рівня розвитку. Останній, базуючись на технотронній тріаді (сукупний працівник – електронно-обчислювальна техніка – автоматизовані засоби виробництва), передбачає перетворення науки у безпосередню продуктивну силу суспільства; тотальне впровадження електронних засобів у виробництво, фінансове управління компаніями та пов'язані з ними процеси дизайну, дистрибуції та післяпродажного обслуговування виробленої продукції; а також детермінує процеси планомірного заміщення працездатних робочих місць автоматизованими і працездатними робочими місцями. Це означає по суті набуття електронікою (матеріалізованою в електронних імпульсах, програмному забезпеченні і базах інформаційних даних) чітко виражених рис і характеристик самоорганізації та здатності виконувати ті контрольні-управляючі функції, котрі на усіх попередніх етапах розвитку виробничої системи суспільства виконувались виключно людиною.

Подібний методологічний засновок дає нам змогу кваліфікувати наноіндустріалізацію як напрям неоіндустріалізації, пов'язаний з цілеспрямованим формуванням ресурсів і факторів виробництва, соціально-економічних зв'язків і виробничих відносин, адекватних процесу застосуванню нанотехнологій. Інакше кажучи, економічний зміст поняття «наноіндустріалізація» означає ніщо інше як технологічний спосіб великомасштабного, інноваційно- й капіталомісткого виробництва нанотоварів і нанопослуг, наділених принципово новими і раніше не досяжними техніко-економічними показниками, а також унікальними функціональними й експлуатаційними характеристиками, котрі не можуть бути відтворені іншими групами представленої на ринку продукції.

Висновки. Саме четверта промислова революція здатна з сучасних методологічних позицій найбільш повно розкрити природу, рушійні сили та векторну спрямованість нанотехнологічних трансформацій глобального виробництва. Йдеться про те, що нанотехнології вписуються у черговий (після інформаційно-технологічного і біотехнологічного), етап розвитку промислових революцій. Тож соціально-економічні і науково-технічні результати від їх впровадження у світову суспільну практику за своїми масштабами і ступенем впливу безумовно матимуть радикальний

характер. Вже сьогодні стає очевидно, що нанотехнології демонструють епохальну інновацію, здатну шляхом побудови спеціально сформованих наноструктур та контрольованої рекомбінації звичних об'єктів і речовинних структур надавати останнім принципово нових, а у багатьох випадках й унікальних хіміко-фізичних (механічних, електричних, маг-

нітних, оптичних тощо) і біологічних властивостей. Це набуде свого концентрованого втілення не тільки і не стільки у виникненні певного роду віддалених соціально-економічних ефектів, скільки у докорінних змінах науково-технологічного ресурсу національних економік та їх конкурентної диспозиції на різних сегментах глобального ринку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bauer H., Patel M., Veira J. The Internet of Things: sizing up the opportunity. New York (NY): McKinsey & Company, 2016.
2. Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. Et al. Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet assessment. PricewaterhouseCoopers, 2014.
3. Meissner H., Iلسena R., Auricha J. C. Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*. 2017. Vol. 62. P. 165–169.
4. Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey, 2015.
5. Aithal S., Aithal, P. S. Green Nanotechnology Innovations to Realize UN Sustainable Development Goals 2030. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*. 2021. No. 5 (2). P. 96–105.
6. Salamanca-Buentello F., Daar A.S. Nanotechnology, equity and global health. *Nat. Nanotechnol.* 2021. Vol. 16. P. 358–361.
7. Linton D., Walsh T. Integrating innovation and learning curve theory: an enabler for moving nanotechnologies and other emerging process technologies into production. *R&D Management*. 2004. № 34. P. 517–526.
8. Cozzens S., Cortes R., Soumonni O., Woodson T. Nanotechnology and the millennium development goals: water, energy, and agri-food. *Journal of Nanoparticle Research*. 2013. Vol. 15, Iss. 11. P. 1–14.
9. Niosi J., Reid S. E. Biotechnology and Nanotechnology: Science-based Enabling Technologies as Windows of Opportunity for LDCs? *World Development*. 2007. № 35. P. 426–438.
10. Romig A. D. An introduction to nanotechnology policy: Opportunities and constraints for emerging and established economies. *Technological Forecasting and Social Change*. 2007. № 74. P. 1634–1642.

REFERENCES

1. Bauer H., Patel M., Veira J. (2016) The Internet of Things: sizing up the opportunity. New York (NY): McKinsey & Company.
2. Geissbauer R., Schrauf S., Koch V. Et al. (2014) Industry 4.0 – Opportunities and Challenges of the Industrial Internet assessment. PricewaterhouseCoopers.
3. Meissner H., Iلسena R., Auricha J. C. (2017) Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0. *Procedia CIRP*. Vol. 62. P. 165–169.
4. Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey, 2015.
5. Aithal S., Aithal, P. S. (2021) Green Nanotechnology Innovations to Realize UN Sustainable Development Goals 2030. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*. No. 5 (2). P. 96–105.
6. Salamanca-Buentello F., Daar A.S. (2021) Nanotechnology, equity and global health. *Nat. Nanotechnol.* Vol. 16. P. 358–361.
7. Linton D., Walsh T. (2004) Integrating innovation and learning curve theory: an enabler for moving nanotechnologies and other emerging process technologies into production. *R&D Management*. No. 34. P. 517–526.
8. Cozzens S., Cortes R., Soumonni O., Woodson T. (2013) Nanotechnology and the millennium development goals: water, energy, and agri-food. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 15, Iss. 11. P. 1–14.
9. Niosi J., Reid S. E. (2007) Biotechnology and Nanotechnology: Science-based Enabling Technologies as Windows of Opportunity for LDCs? *World Development*. No. 35. P. 426–438.
10. Romig A. D. (2007) An introduction to nanotechnology policy: Opportunities and constraints for emerging and established economies. *Technological Forecasting and Social Change*. No. 74. P. 1634–1642.