

## ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ І ВИРОБНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ

УДК 339.9:005.216.3:669.1

doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.02.84>

**Олександр Іванович Амоша,**

*академік НАН України*

e-mail: [amocha@nas.gov.ua](mailto:amocha@nas.gov.ua)

<https://orcid.org/0000-0003-0189-3819>;

**Віра Анатоліївна Нікіфорова,**

*канд. екон. наук, с.н.с.*

Інститут економіки промисловості НАН України

03057, Україна, м. Київ, вул. М. Капніст, 2

e-mail: [nikiforova\\_V@nas.gov.ua](mailto:nikiforova_V@nas.gov.ua)

<https://orcid.org/0000-0001-7644-5821>

### СВІТОВИЙ ДОСВІД СТАНОВЛЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ СМАРТ-ВИРОБНИЦТВ: ОСОБЛИВОСТІ, НАПРЯМИ, НАСЛІДКИ

Статтю присвячено дослідженню ключових особливостей, головних напрямів та основних наслідків становлення металургійних смарт-виробництв у зарубіжних країнах-провідних металовиробниках. Його актуальність пояснюється стрімким розвитком новітніх технологій у світі, що приводить до необхідності стратегічних перетворень у галузі з акцентом на використанні «розумних» рішень і технологій.

Виявлено, що історичними передумовами смартизації металургійної промисловості є те, що вона успішно розвивалася протягом усіх промислових революцій, а метал до сьогодні є та залишатиметься одним з основних конструкційних матеріалів; актуальність смартизації пов'язана з підвищенням ефективності діяльності металургійних підприємств, необхідністю відповідати сучасним вимогам контрагентів, потребою у майбутньому поступальному розвитку галузі, адже існує небезпека залишитися осторонь низки провідних економічних процесів. Головною метою становлення металургійних смарт-виробництв виступає підвищення адаптивності галузі до динамічних змін у зовнішньому середовищі.

Визначено, що ядром розвитку смарт-металургії є цифровізація галузі з використанням таких «розумних» рішень і технологій, як інтернет речей, смарт-пристрої, роботи, штучний інтелект, великі дані, адитивні технології, предиктивна аналітика тощо. Однак оскільки новітні технології розробляються й удосконалюються з великою швидкістю, головним завданням є виокремлення основних точок дотику та напрямів упровадження цих технологій.

На основі дослідження особливостей використання смарт-технологій у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств виявлено, що найбільш стрімко їх упровадження відбувається в організаційно-економічній сфері, де головним напрямом виступає підвищення клієнтоорієнтованості бізнес-моделі, найбільш повільно – у виробничій сфері, де акцент робиться на зростанні ефективності діяльності метпідприємств. Соціальна сфера відрізняється середнім рівнем за швидкістю смартизації та фокусується на поліпшенні умов і безпеки праці та зміні вимог до робочої сили.

Визначено, що головними позитивними наслідками смартизації металургійної промисловості є підвищення її ресурсоефективності й екологічності, негативними – суттєве зростання кібернетичних загроз та вивільнення працівників у короткостроковій перспективі. Більш неоднозначною є зміна ролі людини у виробничому процесі, що може привести

© О. І. Амоша, В. А. Нікіфорова, 2019

як до зменшення помилок, викликаних людським фактором, так і стати причиною недостатньої гнучкості реагування при виникненні форс-мажорних ситуацій.

*Ключові слова:* металургійна промисловість, світовий досвід, смарт-виробництво, цифровізація, виробнича, організаційно-економічна та соціальна сфери діяльності металургійних підприємств, історичні передумови, актуальність, необхідність та наслідки впровадження «розумних» технологій.

JEL: L61; L52; F01; O14; O31; O32

У глобальному вимірі сьогоденний розвиток світової економіки характеризується стрімкими темпами розробки й впровадження новітніх технологій, які ще вчора вважалися «фантастикою», та все більш всеохоплюючим і глибоким їх проникненням у життя людини. Поштовхом до більш широкого використання інноваційних розробок, насамперед у промисловості, стала світова фінансова-економічна криза 2008-2009 рр., яка продемонструвала вразливість фінансового сектору економіки без належного розвитку реального сектору та спонукала менеджерів компаній і державних діячів посилити увагу до індустріальної політики. Це породжує серйозні економічні, соціальні, політичні, техногенні та інші зміни як для суспільства, так і для навколишнього середовища.

Трансформації, що відбуваються у сучасному світі, є досить новими, і наразі не існує єдиної думки щодо їх природи, точної дати початку та наслідків. Так, К. Шваб, президент Всесвітнього економічного форуму (ВЕФ), вважає їх четвертою промисловою революцією (4ПР) [1], апелюючи до того, що вона «... розвивається не лінійними, а скоріше експоненціальними темпами ... змінює не тільки те, «що» і «як» ми робимо, але і те, «ким» ми є. ... передбачає цілісні зовнішні та внутрішні перетворення усіх систем по всіх країнах, компаніях, галузях та суспільству в цілому» [2, с. 9].

Однак існує і протилежна думка, згідно з якою «... ніякої реальної технологічної – та й економічної – бази для 4ПР саме як для «революції у промисловості» не існує. На глобальному «порядку денному» зараз взагалі постають тільки два аспекти, які можна розглядати як справді «революційні»: нова глобальна логістика і нові тех-

нології глобальних фінансів» [3]. Причини цього Д. Євстаф'єв вбачає у відсутності відповідної технологічної «базис», такої як нова енергетична платформа, нова транспортна платформа, масове впровадження принципово нових матеріалів та революційні зрушення у сфері енергоефективності виробництва, адже розрекламовані «альтернативні» джерела енергії в дійсності є найбільш архаїчними (не враховуючи питання їх рентабельності), еволюційні зрушення у зниженні енергоємності соціальної життєдіяльності не завжди є адекватними з точки зору «вартість-ефективність», а зниження логістичних витрат досягається в основному за рахунок організаційних заходів, незважаючи на зрушення у соціальній доступності окремих видів транспорту (насамперед швидкісного).

Попри існування діаметрально протилежних думок щодо «революційності» сучасних світових трансформацій, вони вже є об'єктивною реальністю, і значна кількість учених та практиків, зокрема тих, які співпрацюють зі знаними міжнародними організаціями, присвячують свої роботи дослідженню глобальних та регіональних особливостей техніко-технологічних, організаційно-економічних, соціокультурних і геополітичних перетворень під впливом пришвидшеного розвитку та більш глибокого і всеосяжного впровадження провідних технологій в усіх сферах людської життєдіяльності [4-9].

Окрім загальних питань, останнім часом у науковому співтоваристві все більше уваги приділяється дослідженню впливу цих трансформацій на різні види економічної діяльності внаслідок наявності істотних розбіжностей у процесі опанування ними «розумних» рішень і технологій. Не останнє

місце серед таких галузей посідає металургійна промисловість.

У контексті дослідження впливу четвертої промислової революції на металургію роботи фахівців провідних міжнародних організацій (БЕФ, McKinsey Global Institute – MGI, Світова організація виробників сталі – Worldsteel, Комітет за сталі ОЕСР – OECD Steel Committee) присвячено підвищенню ефективності діяльності галузі за рахунок найбільш повного використання сучасних діджитал-інструментів в умовах несприятливих глобальних тенденцій та на різних етапах металургійного виробництва; напрямом зниження навантаження на довкілля і підвищення екологічності сталевиробництва, перш за все скороченню викидів вуглекислого газу; практичним аспектам упровадження «розумних» технологій на метпідприємствах; можливостям використання технології блокчейн тощо [10-16].

На особливостях розвитку металургійної промисловості в епоху Індустрії 4.0 акцентують увагу вчені та представники великих металургійних організацій, які беруть участь у щорічному Форумі металургії майбутнього (Future Steel Forum), представники південнокорейського POSCO Research Institute (POSRI), дослідники з країн СНД (Росії, Білорусі, Казахстану) [17-23].

Водночас у наукових дослідженнях щодо розвитку металургійної смарт-промисловості недостатньо уваги приділено особливостям використання новітніх технологій у різних сферах діяльності метпідприємств, що допомогло б більш чітко виявити позитивні та негативні наслідки і стратегічні напрями перетворень у галузі в контексті четвертої промислової революції.

*Метою* статті є визначення ключових напрямів та систематизація особливостей і основних наслідків становлення металургійних смарт-виробництв у світі з акцентом на відмінностях упровадження «розумних» технологій та рішень у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств.

Оскільки трансформації, які відбуваються у сучасному світі, лише нещодавно (з історичної точки зору) почали значною мі-

рою впливати на діяльність бізнесу, органів державної влади, науки та освіти, уся різноманітність досліджень щодо опису цих перетворень на сьогоднішній день характеризується відсутністю єдиного понятійного апарату, що може ускладнити трактування інформації. Наразі використовуються такі основні поняття: «цифровізація» (Digitalization), «Індустрія 4.0» (Industry 4.0), «смарт-виробництво» (Smart Manufacturing), «четверта промислова революція» (Fourth Industrial Revolution).

На думку К. Шваба, термін «Індустрія 4.0» «... народився у 2011 році на Ганноверському ярмарку і був призначений для позначення процесу кардинального перетворення глобальних ланцюжків створення вартості. Поширюючи технологію «розумних заводів», четверта промислова революція створює світ, у якому віртуальні та фізичні системи виробництва гнучко взаємодіють між собою на глобальному рівні. Це забезпечує повну адаптацію продуктів і створення нових операційних моделей. Однак четверта промислова революція пов'язана не тільки з «розумними» машинами і системами. Її спектр дії значно ширший. Одночасно виникають хвилі подальших проривів у найрізноманітніших галузях: від розшифровки інформації, записаної в людських генах, до нанотехнологій, від поновлюваних енергоресурсів до квантових обчислень» [2, с. 12]. Проте у дослідженнях, що мають більш прикладний характер, поняття «Індустрія 4.0» та «четверта промислова революція» часто ототожнюються [8, с. 2]. Термін «смарт-виробництво», який Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST) визначається як повністю інтегровані корпоративні виробничі системи, здатні в режимі реального часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняти потреби клієнтів [24], за своїм змістом дуже близький до характеристик Індустрії 4.0. Тому в рамках даної статті з метою виключення різночитань поняття «смарт-виробництво», «Індустрія 4.0» та «четверта промислова революція» використовуватимуться як тожні, тоді як «цифровізація» розуміти-

меться лише як необхідна передумова становлення 4ІР, оскільки «Індустрія 4.0 набагато більше, ніж діджиталізація, це більше парадигма/філософія, ніж технологія» [25, с. 22].

Дослідження світового досвіду розвитку та впровадження «розумних» виробництв у металургійній промисловості здійснено на прикладі найбільших країн-металовиробників, які, згідно з Bloomberg Innovation Index [26] є лідерами з розвитку та використання смарт-технологій, та, на думку фахівців Всесвітнього економічного форуму, найбільш підготовлені до четвертої промислової революції [27, с. 12]. До таких держав належать Південна Корея, Японія, країни ЄС, США, Китай, а також Індія, Мексика, Туреччина, Гонконг.

Становлення металургійних смарт-виробництв у зарубіжних країнах відбувається під впливом ключових тенденцій розвитку галузі у світі. Їх огляд засвідчив,<sup>1</sup> що головними галузевими трендами останніх двадцяти років, які закріпилися у 2013-2017 рр. та, на думку більшості міжнародних експертів, і надалі залишатимуться актуальними, є:

безпрецедентне зростання обсягів металовиробництва (більш ніж у два рази у 2017 р. порівняно з 1998 р.) на тлі постійного перевищення виплавки металу над його споживанням (у середньому на 8,8% щорічно) та розширення металургійних потужностей навіть у кризові періоди 1998-1999, 2008-2009 та 2015-2016 рр.;

кардинальна зміна географічної структури виробництва та споживання металопродукції зі зміщенням «центрів» виплавки і торгівлі металом: першість на глобальному металоринку за обсягами всіх традиційних показників посів Азіатський регіон на чолі з Китаєм, найвищі темпи зростання демонстрували арабські країни Близького Сходу та Північної Африки, тоді як традиційні металургійні регіони – ЄС, СНД та Північна Америка – дещо втратили свої позиції на світовому ринку, зберігши, од-

<sup>1</sup> Більш докладно питання розглянуто у роботах [28-29].

нак, вплив у споживанні металу та металоторгівлі;

зростаюча концентрація виробництва, сталеплавильних потужностей, споживання й експорту металопродукції в десяти країнах-лідерах з виплавки металу, частка яких у світовому випуску сталі перевищує 80%. Наслідком є суттєве загострення конкуренції між цими державами, що потребує пошуку нових, більш «креативних» рішень щодо виробництва та збуту продукції, які б не тільки поліпшували традиційні результати функціонування галузі, але і відповідали інновативним упровадженням у металоспоживаючих видах діяльності та задовольняли сучасні вимоги суспільства;

підвищення спроможності галузі до генерації та впровадження інновацій, де провідну роль відіграє процес діджиталізації: сталь усе частіше стає частиною ланцюжків доданої вартості та виступає постійним матеріалом у циркулярній економіці шляхом просування 4R підходу (Reduce – Reuse – Remanufacture – Recycle), який означає зменшення кількості матеріалу, енергії та інших ресурсів, що використовуються для виплавки сталі, а також металу, який використовується в іншій продукції; повторне використання об'єкта або матеріалу для первинної або аналогічної мети, без суттєвої зміни його фізичної форми; відновлення довговічних сталевих виробів у новому стані; переробку металопродукції в кінці корисного строку її використання для створення нових сталей [30].

Ці тенденції розвитку глобальної металургійної промисловості (як негативні, так і позитивні) спонукають металовиробників (окремі компанії та цілі країни) шукати вихід, спираючись не тільки на традиційні заходи, включаючи протекціонізм, але і на розробку й упровадження принципово нових «розумних» технологій, які системно охоплюють увесь життєвий цикл виробництва, споживання й утилізації металопродукції та щільно пов'язані із загальним станом соціально-економічного і суспільно-політичного розвитку внаслідок розмивання меж між видами діяльності.

### ***Історичні передумови, актуальність і необхідність розвитку смарт-виробництва у металургії***

*Історичними передумовами* становлення металургійних смарт-виробництв можна вважати те, що галузь успішно розвивалася протягом усіх промислових революцій, упроваджуючи їх провідні досягнення у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах, а метал до сьогодні є та залишатиметься одним з основних конструкційних матеріалів у світі.

Розпочавши діяльність ще у стародавні часи, металургійна промисловість пройшла довгий шлях з удосконалення виробництва, продукції та відносин із суспільством, який триває і зараз, набуваючи прискорених темпів із кожною наступною промисловою революцією, коли час між якісним стрибком у розвитку галузі скоротився з тисячоліть та століть до кількох десятиліть або навіть років. Якщо процес отримання сталі шляхом збагачення заліза вуглецем був широко розповсюдженим ще у I тисячолітті до н.е., то доменні печі з'явилися в Англії лише у XIV ст. н.е., тоді як тигельна плавка та пудлінгування – вже у середині та в кінці XVIII ст. під час першої промислової революції (хоча тигельна плавка була відома в Китаї ще у X ст.).

Подальший розвиток галузі був досить інтенсивним: у другій половині XIX ст. у контексті другої промислової революції з її масовим виробництвом та електрифікацією було винайдено бесемєрівській, мартенівський та томасівський процеси виплавки металу, які дозволили значно збільшити обсяги виробництва. Наступним кроком стало впровадження приблизно за 50 років кисневого дуття та безперервної розливки сталі.

Третя промислова революція ознаменувала подальше збільшення продуктивності внаслідок активної автоматизації виробництва, використання інформаційних технологій і найсучаснішої електроніки; широкого розповсюдження набули електродугові та індукційні печі, спеціальна електрометалургія, пряме відновлення заліза тощо, що дозволило значно поліпшити

якість виплавленого металу та знизити його собівартість.

Майбутній розвиток галузі в контексті четвертої промислової революції має неабиякий потенціал стосовно подальшої оптимізації виробничого процесу, інтенсивної взаємодії між бізнес-партнерами та співробітниками, задоволення суспільних інтересів і відбуватиметься на основі кіберфізичних виробничих систем, які передбачають самостійний обмін даними між «розумними» машинами, складськими системами та технічним обладнанням [31, с. 7]

На сьогоднішній день метал є одним із найуживаніших товарів, що застосовується на багатьох ринках кінцевого споживання. За даними Worldsteel [32, с. 38-65], у 2017 р. 51% виплавленої у світі сталі використовувалося в секторі будівництва й інфраструктури, включаючи будівництво житла, залізниць, мостів і «зеленої» енергетики; частка механічного обладнання становила 15%, автомобілебудування – 12, металевих виробів, що складаються зі споживчих та інших товарів, – 11, іншого транспорту, включаючи суднобудування та поїзди, – 5, побутової техніки та електричного обладнання – по 3% на кожну позицію.

Сталь є критичним матеріалом при виробництві металевих виробів, залізничних колій, механічного обладнання, при розподіленні та транспортуванні електроенергії та води тощо, і навіть якщо виріб не вироблений зі сталі, цілком імовірно, що він був вироблений за допомогою машин, виготовлених зі сталі.

Перевагами металу виступає його довговічність за умови належного технічного обслуговування (від 40 до 100 років і довше), найбільш економічне та найвище співвідношення міцності й ваги будь-якого будівельного матеріалу, вища екологічність унаслідок можливості повної переробки тощо.

Крім того, металургія надає побічні продукти, які, у свою чергу, знаходять застосування у хімічній промисловості, енергетиці, будівництві, сільському господарстві тощо, тобто виступає невід'ємною час-



тиною глобальних ланцюжків створення вартості, що зумовлює актуальність розвитку галузевих смарт-виробництв (окрім можливості кардинально підвищити ефективність функціонування метпідприємств за рахунок реалізації інновативних рішень в усіх сферах їх діяльності).

Швидкий розвиток та впровадження розумних технологій у металоспоживаючих і пов'язаних видах діяльності потребують від металургії виконання принципово нових вимог клієнтів і дозволяє використовувати їх інноваційні нароби.

Так, сучасні тренди розвитку світової енергетики здебільшого зосереджуються на пріоритетному переході на електричну енергію у виробництві, обслуговуванні транспорту та будівель за рахунок широкого використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) [33]. За даними агентства Bloomberg, до 2050 р. близько 50% усієї електроенергії вироблятиметься вітровими і сонячними електростанціями через суттєве зниження її собівартості, частка ж усіх безвуглецевих видів енергії зросте до 71% [34].

Відмітною рисою даного процесу є активне використання найсучасніших технологій і матеріалів (наприклад, у Нідерландах планується запустити вітроелектростанції, де роль лопатей виконуватиме безпілотник [35]), що дозволяють зменшити витрати, строки впровадження ВДЕ та зробити їх невід'ємною частиною смарт-міст.

Для металургії це означатиме зростання попиту на її продукцію, зокрема з поліпшеними характеристиками, з метою розбудови відповідної інфраструктури (наприклад, середня вітрова турбіна на 80% складається зі сталі [32, с. 111-112]); збільшення використання «чистої» енергії у виробничому процесі та дозволить, хоч і опосередковано, взяти участь у досягненні цілей Паризької кліматичної угоди, що відповідає курсу на підвищення екологічності галузі.

Сьогоднішні тренди розвитку будівництва, включаючи інфраструктурні проекти, також підштовхують металургію перейти до діяльності на смарт-засадах. Нові технології змінюють процес будівництва,

експлуатації та підтримки об'єктів, включаючи інформаційне моделювання будівлі (BIM), попередню збірку, бездротові датчики, автоматизоване і робототехнічне обладнання, 3D-друк. Активно використовується технологія відеоігор для розробки інтер'єрів будівель, інтелектуальні тривимірні моделі DIRTТ інтегрують інженерну, цінову та виробничу інформацію, яка потім використовується для виготовлення індивідуальних інтер'єрів [36, с. 8]. Усе більшого значення набуває можливість легко збирати та розбирати сталеві будівлі з метою їх повторного використання для отримання екологічного ефекту, економія викидів діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) від повторного використання будівель оцінюється на рівні 1-1,5 кг CO<sub>2</sub>/кг сталі [32, с. 83]. Неабиякий інтерес становить використання у будівництві роботів [37] та розбудова економічних, енергоефективних й екологічних «розумних» будинків і «розумних» міст [38; 39], виробництво яких додатково потребуватиме металу з поліпшеними характеристиками для обладнання всіма необхідними датчиками й енергогенеруючими установками.

Особливого значення останнім часом набуло повсюдне використання як у будівництві, так і у транспортному машинобудуванні провідних високоміцних сталей (Advanced High-Strength Steels – AHSS), які дозволяють істотно знизити вагу будівель і транспортних засобів, зменшуючи при цьому викиди вуглекислого газу протягом усього життєвого циклу продуктів. AHSS використовують такі великі автовиробники, як Chevrolet, Kia, Volkswagen та ін., а більшість металургійних компаній, зокрема ArcelorMittal, інвестують значні суми у розробку високоміцних сталей нових поколінь [40].

*Необхідність* упровадження смарт-виробництв у металургійній промисловості пов'язана з її майбутнім поступальним розвитком, що пояснюється небезпекою залишитися осторонь провідних економічних процесів через неможливість збуту продукції внаслідок невідповідності вимогам контрагентів.

Головною метою розвитку смарт-металургії є підвищення адаптивності галузі, яка полягає у:

всеосяжному пристосуванні до зовнішніх умов, які з кожним днем змінюються все швидше;

більш оперативному реагуванні внутрішнього середовища на зміну зовнішніх умов;

підвищенні гнучкості управління підприємством чи галуззю як з боку менеджменту компаній, так і з боку держави;

посиленні та поглибленні клієнтоорієнтованості, що означає першочергове врахування запитів клієнтів (у тому числі тих, що тільки будуть сформовані у майбутньому), виходячи з яких відбувається розвиток виробництва, навіть якщо сьогодні необхідні виробничі умови здаються неможливими.

#### **Особливості використання «розумних» технологій у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств**

У процесі розвитку металургійної смарт-промисловості ядром виступають новітні діджитал-технології, за допомогою яких відбувається «цифровізація та інтеграція вертикального і горизонтального ланцюжків створення доданої вартості, цифровізація пропонування товарів та послуг, з'являються нові бізнес-моделі та платформи взаємодії з клієнтами» [41, с. 2]. До них належать IoT-платформи, аналіз великих даних, хмарні технології, візуалізація, інтелектуальні датчики, мобільні пристрої, «розумні» машини та механізми, адитивні технології (3D-друк) та ін., які забезпечують просунуті інтерфейси для взаємодії людини і машини, багаторівневу взаємодію з клієнтами та збір клієнтської інформації, перевірку достовірності та виявлення фактів шахрайства тощо [10; 41].

Широке впровадження цих технологій стало можливим завдяки зниженню їх вартості. Так, «...вартість дрону у 2007 р. становила майже 100 тис. дол., до 2013 р. впавши до 700 дол. Навіть вартість промислових роботів зменшилася з більш ніж

500 тис. дол. у 2007 р. до 20 тис. дол. у 2014 р. Більше того, коли ці цифрові технології використовуються разом, вони генерують «комбінаторні ефекти», які підвищують їх можливості у геометричній прогресії, і набагато більше, ніж якщо б кожний був використаний окремо. Дані комбінаторні ефекти є додатковою причиною для прийняття організаціями цифрових технологій» [10, с. 8].

Перелічені технології не є унікальними тільки для металургії через «розвивання» меж між різними видами діяльності та усіма сферами суспільного життя, широко використовуючись в інших галузях, проте мають свої особливості, дію яких доцільно дослідити окремо у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств (хоч такий розподіл і є досить умовним) унаслідок існування розбіжностей у процесі опанування ними новітніх технологій.

Розробка й упровадження смарт-рішень у *виробничій сфері* розвиваються набагато повільніше, ніж в інших сферах діяльності, через необхідність дуже великих капіталовкладень і значного проміжку часу для вдосконалення, а тим більше здійснення принципово нових інноваційних відкриттів щодо металургійного процесу, який технологічно є досить стабільним. Оскільки саме цю сферу діяльності для металургії можна вважати принциповою та основоположною, доцільно розглянути її більш докладно.

Основними прикладами смарт-рішень у металургійному виробництві на сьогоднішній день виступають:

інтернет речей (IoT) – дозволяє управляти виробничим процесом у режимі реального часу та зв'язувати воедино всі його частини на великій території, дистанційно керувати роботою будь-якого пристрою та обладнання, підключених до єдиної системи. Особливого значення для металургійної галузі IoT має при видобуванні первинних ресурсів, наприклад, у гірничорудній промисловості, основні потужності якої розташовані, як правило, на досить

великій відстані від власне металургійного підприємства. Перешкодою може виступати відсутність стабільного інтернет-зв'язку у багатьох куточках планети, проте останні розробки в галузі супутникового зв'язку найближчим часом можуть дозволити забезпечити інтернет-покриття на 80% території Землі [42];

смарт-пристрої (датчики, сенсори, лічильники) – контролюють та оптимізують роботу обладнання, дозволяючи точно й оперативно визначити, скільки сировини споживається в тій чи іншій печі, які бувають відхилення від нормативів витрат, які причини їх викликають, який рівень споживання тощо. Датчики збирають величезний масив інформації, яка потім інтерпретується штучним інтелектом, оптимізуючи виробничу лінію та створюючи синергетичний ефект. Наприклад, виробники сталі встановлюють інтелектуальні лічильники та інші датчики, щоб скоротити викиди CO<sub>2</sub> і зменшити витрачену енергію. Зазвичай заводи генерують багато власної електроенергії, використовуючи газ зі своїх печей і процесів прокатки. Тим не менш більшість також використовує велику кількість енергії з мережі, яку вони завжди намагаються зменшити. Різні марки сталі потребують різної кількості енергії, і датчики тепер здатні точно вимірювати, які марки сталі є найбільш енергоємними. Виробники можуть потім аналізувати ціни на енергію, щоб позиціонувати певні марки сталі на виробничій лінії, щоб вони вироблялися, коли потужність найдешевша [14];

інтелектуальне моделювання та візуалізація процесів, що відбуваються всередині устаткування на основі даних, отриманих за допомогою сучасних датчиків, застосування концепції цифрових двійників.<sup>1</sup> Особливого значення вони набувають при аналізі процесів у «закритих» агрегатах – доменних і сталеплавильних печах.

<sup>1</sup> Цифрові двійники (Digital twin) – віртуальна копія кожного фізичного об'єкта, пристрою, машини, виробничого або промислового процесу, яку можна побачити на будь-якому комп'ютері, що дозволяє глибше розуміти деякі процеси без втручання у сам продукт.

Наприклад, доменні печі мають постійно завантажуватися шарами коксу та агломерату, що чергуються, ці шари забезпечують рівномірно ефективний потік газу. До недавнього часу топографічні й температурні порушення було важко ідентифікувати. Австрійський завод Voestalpine, використовуючи 3D-радіолокацію, зміг розробити всеосяжну модель процесу зарядки, яка включає вимірювання температури доменної печі в режимі реального часу, що привело до більш високих виходів чавуну і зменшення викидів [14];

роботизація – роботи можуть використовуватися при дефіциті робочої сили і на небезпечних ділянках виробництва. У металургії рівень роботизації поступається іншим галузям, наприклад автомобільній, проте роботи знаходять застосування при відборі проб рідкої сталі, контролі її рівня і вимірі температури у плавильних агрегатах, при скачуванні шлаку, нанесенні та знятті вогнетривких покриттів. Технології безпілотних літальних апаратів використовуються для перевірки важкодоступних районів заводу, а також геодезії та планування гірничих робіт [43]. У перспективі вся напольна, кранова техніка буде безпіотною і під управлінням штучного інтелекту. Технічно це вирішуване завдання, і дослідники зараз прагнуть до навчання машин [44];

технології, засновані на порошковій металургії (в основному 3D-друк, у перспективі технології 4D<sup>2</sup> та MIM<sup>3</sup>), – нале-

<sup>2</sup> 4D-друк – адитивна технологія, де до трьох вимірів для створення реальних об'єктів (довжини, широти і висоти) додається четвертий параметр – фактор часу. Матеріали набувають здатності адаптуватися до змін навколишнього середовища, але при цьому мають «пам'ять форми», що дозволяє їм повертатися у початковий стан.

<sup>3</sup> Metal Injection Molding (MIM) – це технологія виготовлення деталей методом пресування спеціальної суміші, що складається з металевого порошку і наповнювача, у прес-форму, із використанням термопластавтомату. Деталі, виготовлені цим методом, застосовуються в автомобілебудуванні, медицині, виробництві зброї, комп'ютерів тощо, замінюючи пластмасові вироби в масовому виробництві, де необхідна точність, легкість і міцність.



жать до адитивних технологій (Additive Manufacturing – AM), головною відмінністю яких є додавання необхідного, а не прибирання зайвого. Вони виступають одними з найбільш прогресивних технологій виробництва готових металевих виробів (для виробництва порошків у будь-якому разі спочатку необхідно виплавити метал), що дозволяють задовольняти індивідуальні потреби клієнтів, роздруковуючи унікальну продукцію безпосередньо на місці, де вона використовуватиметься, та відрізняючись більш коротким ланцюжком створення вартості. Металургійні AM іноді позначають особливою аббревіатурою DMF – Direct Metal Fabrication – пряме «виращування» з металевих порошків. Цю групу технологій розглядають як одну із стратегічних для освоєння, перш за все в аерокосмічній і оборонній галузях. Очікується, що найбільший ефект може бути одержано в космічній індустрії (сопла, деталі та вузли рідинних ракетних двигунів); літакобудуванні (складнопрофільні деталі газотурбінних двигунів, компресорів); енергетичному машинобудуванні (фасонні вироби з високолегованих сталей); медицині, особливо в хірургії та стоматології (створення протезів та імплантатів); при виготовленні інструментів для обробки пластикових виробів і деталей, одержуваних інжекційним формуванням; в автомобільній і транспортній промисловості (деталі двигунів внутрішнього згоряння, конструкційні деталі); виробництві товарів народного споживання [22, с. 38-39]. Однак ця технологія на сьогодні є дорожчою за традиційне металовиробництво через високу вартість порошків і самих 3D-принтерів та має обмеження щодо використовуваних матеріалів унаслідок жорстких вимог до поверхні та структури часток застосовуваних порошків, коливань якості готових виробів, обмежень на розміри друкованих деталей. Проте вже у 2030-2035 рр. обсяг ринку тривимірного друку у металургії може сягнути 10 млрд дол. у результаті швидкого розвитку технологій та більш глибокого включення галузі в освоєння й

упровадження «розумних» технологій [44; 45];

розробка нових продуктів і матеріалів, коли клієнту пропонується навіть не товар, а комплексне рішення – комбінація нових матеріалів (сплавів) з унікальними властивостями, технічні інженерні рішення із застосування нових сплавів у конкретних výroбах [44, с. 20]. Пришвидшеними темпами відбувається розвиток й запровадження металургійних нанотехнологій, які особливого значення набувають у медицині, електроніці, хімічній промисловості [46].

Найбільш швидкими темпами запровадження «розумних» технологій відбувається в *організаційно-економічній сфері* діяльності метпідприємств, оскільки воно пов'язане з нижчими капіталовкладеннями та займає значно менше часу (часто не більше двох років [41, с. 10]).

Основними напрямками смартизації галузі в цій сфері на сьогоднішній день виступають:

1) цифровізація продукції, послуг та всієї бізнес-моделі – є ключовою складовою даного процесу, яка являє собою насичення фізичного світу електронно-цифровими пристроями, засобами, системами і налагодження електронно-комунікаційного обміну між ними, що фактично уможливорює інтегральну взаємодію віртуального та фізичного, тобто створює кіберфізичний простір [47]. Цифровізація у металургії відбувається з використанням датчиків (вібраційних, оптичних, звукових), сенсорів, великих даних, хмарних технологій, візуалізації та ін., поєднаних за допомогою інтернету речей, завдяки чому до інформації мають централізований доступ усі підрозділи підприємства або підприємств, що входять до великої корпорації. При цьому будь-яка програмна або апаратна система, розроблена всередині компанії або придбана у постачальника, має бути стандартною і мати можливість підключатися до іншого обладнання незалежно від частоти оновлень [48].

Завдяки діджиталізації відбулося значне збільшення обсягу прямих онлайн-

продажів металопродукції, тоді як раніше збут здійснювався здебільшого через трейдерів або конкретному споживачеві лише великими партіями. Управління рахунками, запасами та закупівлею сировини і запчастин також відбувається в режимі реального часу, що дозволяє обрати найкращий варіант за ціною та способом транспортування і зменшити тим самим площу складських приміщень, скоротити час доставки, диференціювати постачальників тощо.

Металургійні компанії широко впроваджують ERP-системи (Enterprise Resource Planning – управління ресурсами підприємства). На практиці прикладом їх діяльності є реєстрація заявки в реєстрі замовлень, яка переходить на стадію технічної експертизи і потім видається у виробництво з конкретними термінами. Далі починаються стадії виробничого планування, деталізації завантаження, розподілу ресурсів та ін. Усе це абсолютно прозоро і взаємопов'язано, тобто йдеться про наскрізне планування, виконання та контроль у єдиному інформаційному полі [49].

За даними McKinsey global institute, усе більшу цінність порівняно з фізичним продуктом набуватиме ефективність збору та використання даних, тоді як позиція компанії на кривій витрат вже не буде вирішальним чинником її конкурентоспроможності. Виробники металів, що використовують увесь потенціал цифрової трансформації, зможуть підвищити рентабельність за EBITDA на 6-8 в.п. [11, с. 2];

2) використання предиктивної аналітики, спрямованої на запобігання негативним ситуаціям (наприклад, поломки або простої устаткування), яка стає реальністю завдяки застосуванню цифрових двійників, великих даних, хмарних технологій тощо. На думку керівника проекту Smart Factory однієї з найбільших металургійних компаній світу – південнокорейської «POSCO», дані дозволяють точно визначити, в якій саме операції та в якому місці стався дефект продукту. У яку зміну, в який день і за яких умов. І хоча набори даних про сталеплавильні процеси були доступними

раніше, саме технології четвертої промислової революції відкривають нові можливості, що дозволяють виробникам по-різному збирати більше даних із безлічі інтелектуальних датчиків й інтелектуальних систем, які обмінюються інформацією по локальній мережі [14];

3) зростаюча клієнтоорієнтованість, яка означає відмову від роботи металургійних підприємств «на вал», коли продукція поставлялася великими партіями або безпосередньо споживачам, або на склади дистриб'юторів, та переорієнтацію на виконання найдрібніших замовлень клієнтів із розширенням продуктового портфеля, включаючи унікальну специфікацію для кожного споживача, з наступним післяпродажним обслуговуванням. Виробники та клієнти постійно перебувають на зв'язку в режимі реального часу завдяки новим онлайн-платформам, що дозволяють споживачам відстежувати виконання замовлення та інші сервіси, а виробникам – збирати інформацію про вподобання та вимоги покупців – як нинішніх, так і потенційних;

4) зміни в корпоративному управлінні та організаційній структурі компаній із винесенням та агрегуванням деяких функцій (фінанси, ІТ-сектор, ремонтні роботи, управління персоналом, закупками, збутом тощо) в окремих підрозділах, при якому відбувається чітке розподілення сфер відповідальності по управлінській вертикалі, що виключає дублювання та наявність «сірих зон». Необхідною умовою виступає визнання майбутніх змін та серйозне ставлення до них уже зараз з боку як власників та менеджменту метпідприємств, так і представників органів державної влади;

5) прискорення горизонтальної та вертикальної інтеграції ланцюжків створення вартості внаслідок посилення прямої співпраці між усіма контрагентами, мінімізуючи вплив посередників.

Смартизація в соціальній сфері діяльності металургійних підприємств відбувається швидше, ніж у виробничій, проте повільніше, ніж в організаційно-економічній, унаслідок проблематичності безапеля-

ційного сприйняття новітніх технологій абсолютно всіма працівниками в усіх підрозділах компанії, які побоюються (слід зауважити, що небезпідставно) або втратити роботу, або суттєво змінити діяльність під натиском «розумних» машин.

Особливостями впровадження смарт-рішень у цій сфері на сьогоднішній день є такі:

безперервний розвиток цифрової культури, рівень якої наразі є недостатнім для всеосяжного використання розумних технологій;

підвищення персональної відповідальності за прийняття рішень унаслідок посилення горизонтальної інтеграції по всьому ланцюжку створення вартості;

посилення безпеки та поліпшення умов праці, особливо на виробництві, внаслідок використання спеціального обладнання та зменшення фізичної присутності працівників на небезпечних ділянках.<sup>1</sup>

На думку багатьох фахівців великих металургійних компаній, смартизація викличе не скорочення зайнятості, а скоріше, зміни на ринку праці, що потребує перезавантаження системи освіти та необхідності навчити людей не чинити опір постійним змінам на підприємстві, а виступати з ініціативами, потім беручи участь у їх впровадженні, адже саме працівники є «двигунами прогресу». За словами керівника проекту Smart Factory компанії «POSCO», більша частина великого ноу-хау прихована всередині операторів або інженерів, і керівництво компанії намагається вивести це

---

<sup>1</sup> Наприклад, фахівці японської Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation (NSSMC) намагаються передбачити небезпечні ситуації до того, як вони відбудуться, щоб стати нульовим аварійним робочим місцем. Інженери мають носити смарт-каски, оснащені камерами, датчиками небезпечних газів та акселерометрами. Технологія геофенсінга забезпечує закриті системи позиціонування всередині заводу. Якщо робочий прибуває у небезпечне місце, вона може його попередити. Аналогічним чином, якщо працівники потрапляють в аномальне становище, технологія попереджає систему [14].

знання з їх голови і кодифікувати в щось, що можна назвати «інтелектом» [14].

«У найближчому майбутньому будуть затребуваними інженери-металурги зі знанням не тільки теоретичних основ процесу, але і чітким розумінням бізнес-системи, а також інженери-програмісти – творці того самого штучного інтелекту, який керуватиме всіма процесами ідеального заводу. ... Можуть бути затребувані універсали, тобто люди, здатні виконувати одночасно функції, скажімо, слюсаря, електрика, механіка, зварника. Таких людей мало, але вони явно будуть потрібні. Безумовно, зростатиме попит на мехатроніків – інженерів, здатних з'єднати механічні вузли металургійних агрегатів з електротехнічними й електронними компонентами і потім змусити їх злагоджено працювати за спеціально написаними комп'ютерними програмами» [44, с. 24].

Голова ради директорів ПАТ «Северсталь» О. Мордашов зазначає, що навчання на робочому місці стане найбільш дієвою формою освіти, і виробничий майданчик перетвориться на основний освітній інститут. А в традиційних навчальних закладах ефекту присутності на виробництві можна досягти з використанням інструментів віртуальної реальності [50].

### **Основні наслідки смартизації металургійної промисловості**

У результаті виконаного аналізу визначено основні наслідки смартизації, які важливо враховувати при встановленні перспектив і напрямів подальшого розвитку галузі.

#### *Позитивні:*

підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі за рахунок поліпшення якості продукції, скорочення витрат (особливо внаслідок зниження енерго- та ресурсоємності), зростання екологічності виробництва (у результаті поліпшення якості вхідної сировини, готової продукції та розвитку згідно з концепцією циркулярної економіки), зниження травма-

тизму (внаслідок широкого використання на небезпечних ділянках машинної праці);

зменшення помилок, викликаних людським фактором, у результаті збільшення обсягу та переліку операцій з обробки даних, виконуваних за допомогою штучного інтелекту;

кардинальна переорієнтація на запити клієнтів, відштовхування від портфеля замовлень при налаштуванні виробництва;

більша синхронізація з іншими видами діяльності та суспільством через поглиблення участі всіх контрагентів у процесі створення, споживання та утилізації металопродукції (часто в режимі реального часу).

#### *Негативні:*

зростання проблем при збереженні й експлуатації великих даних унаслідок збільшення кібернетичних загроз, можливих помилок робітників, відповідальних за розробку програмного забезпечення та первинний збір точних даних і введення інформації в систему, можливого зосередження важелів управління у невеликій кількості компаній, відповідальних за розробку й обслуговування смарт-технологій;

недостатня гнучкість реагування при виникненні позаштатних і форс-мажорних ситуацій у результаті того, що використовувані автоматизовані системи управління, навіть якщо вони здатні до самонавчання, не можуть адекватно та креативно відповідати абсолютно на всі виклики;

революційні зміни в чисельності, структурі та необхідній професійній підготовці робочої сили, що приводять до значного вивільнення кваліфікованих металургійних працівників, які не можуть знайти свого місця на сучасному ринку праці;

недостатня кількість комплексних централізованих програм адаптації та перекваліфікації металургійних працівників.

Слід відзначити, що розподіл наслідків розбудови металургійних смарт-виробництв на позитивні та негативні є досить умовним, особливо якщо розглядати їх у коротко- та довгостроковій перспективі. Так, соціальна напруженість від змін на

ринку праці через упровадження «розумних» технологій, що обов'язково виникне у короткостроковій перспективі, у довгостроковій підштовхне подальший розвиток інновацій та зменшить опір змінам, тоді як кібернетичні загрози з часом, навпаки, лише загострюватимуться.<sup>1</sup> Крім того, перелічені наслідки здебільшого не є унікальними для металургійної промисловості, вони притаманні більшості галузей, економіці та суспільству загалом, однак від цього не стають менш значущими і потребують уваги.

#### *Висновки*

1. Розвиток новітніх технологій, що постійно пришвидшується, та посилена увага до промисловості як базису сталого економічного зростання виступають одними з

---

<sup>1</sup> Проблему захисту даних від кіберзлочинів наочно ілюструє приклад, який, хоч і не має прямого стосунку до металургійної галузі, але свідчить про надзвичайні заходи, до яких змушені вдаватися держателі цифрових статків для їх збереження від хакерів. Йдеться про бункер у Швейцарії часів Холодної війни, де наразі розташоване біткоїн-сховище, адже навіть криптовалюта потребує якогось матеріального контейнера. У ньому зберігаються приватні криптографічні ключі, що забезпечують доступ до балансу монет у мережі біткоїнів. Якщо хтось заволодіє особистим ключем, то буде неможливо повернути гроші назад або вимагати відшкодування. Бункер врізався глибоко в надра гранітної гори (на 320 м під землю), оснащений триметровими воротами, пристроєм з куленепробивного скла, набором сталевих дверей, які, за словами співробітників, витримують навіть ядерний вибух, найсучаснішими системами сигналізації та неодноразового сканування для ідентифікації особистості. Власне криптографічні ключі зберігаються у «холодній кімнаті», яка оточена сталевими плитами, що утворюють клітку Фарадея, – бар'єр, який захищає вміст від можливого електромагнітного впливу. Вона містить апаратні засоби, що використовуються для підпису біткоїнів, які ніколи не підключені до Інтернету. Оператор звертається до цього устаткування за допомогою «спеціальної кабельної системи», надсилаючи зашифровані дані на обладнання для підписання. Нарешті, перш ніж угода може бути схвалена, мають бути виконані ще дві виписки у двох інших сховищах, розташованих на різних континентах [51].



ключових глобальних трендів останніх років. Свій внесок у розбудову «економіки майбутнього» робить і металургійна промисловість, яка в контексті Індустрії 4.0 змушена поступово переорієнтуватися на діяльність на смарт-засадах.

Дослідження зарубіжного досвіду становлення металургійних смарт-виробництв засвідчить, що його історичними передумовами виступає те, що галузь успішно розвивалася протягом усіх промислових революцій, а метал до сьогодні є та залишатиметься одним з основних конструкційних матеріалів. Актуальність використання «розумних» технологій у металургії пов'язана як з можливістю підвищення ефективності її діяльності, так і з необхідністю відповідати сучасним вимогам металоспоживаючих і пов'язаних галузей унаслідок поступового «стирання» меж між видами діяльності. Необхідність смартизації металургійної промисловості вбачається у її майбутньому виживанні, адже існує небезпека залишитися осторонь низки економічних процесів через неможливість виробництва та збуту продукції внаслідок невідповідності вимогам контрагентів.

У цілому використання «розумних» технологій – як вже існуючих, так і тих, що тільки будуть винайдені, спрямований на подальшу цифровізацію продукції, послуг й усієї бізнес-моделі як ядра та базису розбудови металургійних підприємств майбутнього, істотне посилення клієнтоорієнтованості за рахунок роботи в режимі реального часу, первинної орієнтації на портфель замовлень при налагодженні виробництва та поступового стирання меж між видами діяльності, а також на зміну вимог до робочої сили з акцентом на поєднанні «робочих» навичок із можливістю оперувати провідними технологіями на основі безперервного навчання.

2. Головна мета становлення металургійних смарт-виробництв – підвищення адаптивності галузі до динамічного зовнішнього середовища – досягається шляхом впровадження «розумних» рішень і

технологій у різних сферах діяльності металургійних підприємств, які, хоч і мають багато спільного, але відрізняються спрямованістю та цілями використання тих чи інших технологій, строками і зусиллями щодо їх опанування, обсягом капіталовкладень.

У виробничій сфері діяльності металургійних підприємств за рахунок впровадження таких смарт-технологій, як інтернет речей, смарт-пристрої, роботи, інтелектуальне моделювання, великі дані, адитивні технології, забезпечується оптимізація роботи обладнання в режимі реального часу з метою скорочення операційних витрат, зниження ресурсоемності та підвищення екологічності виробництва, відбувається розробка нових продуктів і матеріалів, які б відповідали індивідуальним потребам клієнтів навіть за умови невеликого обсягу замовлення. Ця сфера найменш швидко переорієнтовується на «розумні» рейки внаслідок необхідності значних капіталовкладень та часу для здійснення значущих відкриттів. Уповільнює процес також важкість впровадження смарт-технологій на вже працюючих підприємствах. На думку фахівців української компанії «IT-Enterprise», переведення вже працюючих підприємств на нові принципи планування, виробництва, поставок і післяпродажного обслуговування продукції здійснюватиметься поступово і з максимальним використанням уже наявних виробничих активів. Послідовність переходу істотною мірою залежить від специфіки роботи підприємства і доступності нових технологій» [52].

В організаційно-економічній сфері діяльності металургійних підприємств, яка розвивається найбільш стрімко внаслідок досить тісної взаємодії з більш технологічно прогресивними видами діяльності та значно меншого проміжку часу, необхідного для впровадження й окупності смарт-технологій, активно впроваджується цифровізація продукції та послуг. Завдяки використанню предиктивної аналітики, змінам у корпоративному управлінні та орга-



нізаційній структурі компаній і прискоренню горизонтальної та вертикальної інтеграції ланцюжків створення вартості вона забезпечує істотне підвищення клієнтоорієнтованості, сприяє розвитку електронної торгівлі, поліпшенню післяпродажного обслуговування та зниженню собівартості продукції.

У соціальній сфері діяльності металургійних підприємств упровадження «розумних» технологій (інтернет речей, smart devices, роботи, штучний інтелект) спрямоване головним чином на безперервний розвиток цифрової культури, підвищення персональної відповідальності працівників та поліпшення умов і безпеки праці. Смартизація цієї сфери відбувається повільніше, ніж організаційно-економічної, внаслідок суб'єктивного сприйняття змін та їх необхідності для підприємства кожним окремим співробітником, який побоюється втратити робоче місце через заміну на «машину» чи неспроможність опанувати смарт-технології.

3. Становлення металургійних смарт-виробництв має як позитивні, так і негативні наслідки для металургійних підприємств та суспільства загалом, які здебільшого не є унікальними для галузі, однак мають бути враховані при впровадженні «розумних» технологій і їх подальшому вдосконаленні.

Безсумнівним позитивним результатом смартизації металургійної промисловості виступає підвищення її ресурсоефективності й екологічності, ключовим негативним наслідком – суттєве зростання кібернетичних загроз і загроза вивільнення працівників у короткостроковій перспективі. Більш неоднозначною є зміна ролі людини у виробничому процесі, що може привести як до зменшення помилок, викликаних людським фактором, так і стати причиною недостатньої гнучкості реагування при виникненні позаштатних ситуацій, оскільки навіть найсучасніші технології є стандартизованими і не в змозі творчо відповісти абсолютно на всі виклики зовнішнього середовища. Із цього випливає

головне протиріччя розвитку смарт-металургії – невідповідність між стрімким розвитком новітніх технологій і доцільністю їх використання для досягнення суспільного блага й адекватним сприйняттям працівниками металургійних підприємств і соціумом загалом.

Подальші дослідження з розглянутої проблематики важливо зосередити на виявленні передумов, проблем і напрямів розвитку смарт-металургії в Україні в контексті системної кризи діяльності галузі.

### Література

1. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*. December 12, 2015. URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution> (Дата звернення: 20.04.2019).

2. Шваб К. *Четвертая промышленная революция*. Пер. с англ. АНО ДПО «Корпоративный университет Сбербанка». Москва: Эксмо, 2016. 138 с.

3. Евстафьев Д. Четвертая промышленная революция: пропагандистский миф или «знак беды»? *Инвест-Форсайт*. Октябрь 12, 2017. URL: <https://www.if24.ru/4-promyshlennaya-revolyutsiya-mif/> (Дата звернення: 20.04.2019).

4. Maximizing the Return on Digital Investments. Digital Transformation Initiative. System Initiative on Shaping the Future of Digital Economy and Society. *World Economic Forum. In collaboration with Accenture*. May 2018. 27 p.

5. Helmrich K. Future technologies that will drive Industry 4.0. *World Economic Forum*. 18 Jan. 2019. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/future-technologies-will-drive-industry-4-0/> (Дата звернення: 22.04.2019).

6. Breunig M., Kelly R., Mathis R., Wee D. Getting the most out of Industry 4.0. *McKinsey Global Institute*. April 2016. 3 p. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Getting%20the%20>

most%20out%20of%20Industry%204%200/Getting%20the%20most%20out%20of%20Industry%2040.ashx (Дата звернення: 22.04.2019).

7. Woetzel J., Sellschop R., Chui M., Ramaswamy S., Nyquist S., Robinson H., Roelofsen O., Rogers M., Ross R. Beyond the supercycle: how technology is reshaping resources. *McKinsey global institute. In collaboration with mckinsey's global energy & materials practice*. February 2017. 116 p.

8. The Fourth Industrial Revolution is here – are you ready? *Deloitte*. 2018. 24 p. URL: [https://www.forbes.com/forbes-insights/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-Fourth-IndustrialRev\\_REPORT\\_FINAL-WEB.pdf](https://www.forbes.com/forbes-insights/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-Fourth-IndustrialRev_REPORT_FINAL-WEB.pdf) (Дата звернення: 23.04.2019).

9. Berg A., Buffie E.F., Zanna L.-F. Should We Fear the Robot Revolution? (The Correct Answer is Yes). *International Monetary Fund. IMF Working Paper No. 18/116*. May 2018. 60 p.

10. Mining and Metals Industry. Digital Transformation Initiative. White Paper. *World Economic Forum. In collaboration with Accenture*. January 2017. 36 p.

11. Mori L., Saleh T., Sellschop R., Van Hoey M. Unlocking the digital opportunity in metals. *McKinsey global institute. Metals&Mining Practice*. January 2018. 16 p.

12. McCarthy A., Börkey P. Mapping support for primary and secondary metals production. *OECD. OECD Environment Working Papers No. 135*. OECD Publishing, Paris. 9 October 2018. 108 p. doi: <https://doi.org/10.1787/4eaa61d4-en>.

13. de Pee A., Pinner D., Roelofsen O., Somers K., Speelman E., Witteveen M. Decarbonization of industrial sectors: the next frontier. *McKinsey global institute*. June, 2018. 66 p.

14. Ferneyhough G. Steel rises to the challenges of Industry 4.0. *World Steel Association*. February, 2018. URL: <https://stories.worldsteel.org/innovation/steel-rises-challenges-industry-4-0/> (Дата звернення: 27.03.2019).

15. Razavi L. Tackling water loss in Tokyo. *World Steel Association*. March 2017. URL: <http://stories.worldsteel.org/infrastructure/tackling-water-loss-tokyo/> (Дата звернення: 27.03.2019).

16. Groeneweg S. Tracking steel using blockchain. *OECD Steel Committee*. 86<sup>th</sup> Session of the Steel Committee, Paris, 25-26 March 2019. 6 p. URL: <http://www.oecd.org/sti/ind/86th%20Steel%20Committee%20meeting%20%20Presentation%20by%20Canada,%20Tracking%20Steel%20using%20Blockchain.pdf> (Дата звернення: 15.04.2019).

17. Naujok N., Stamm H. Industry 4.0 in Steel: Status, Strategy, Roadmap and Capabilities. *Keynote Presentation Future Steel Forum, Warsaw*. 14th June 2017. URL: <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Dr-Nils-Naujok-Holger-Stamm-Industry-4.0-in-steel.pdf> (Дата звернення: 13.04.2019).

18. Chaubal P. Perspectives on Digital Manufacturing. *Future Steel Forum, Warsaw, Poland*. June 14-15, 2017. 27 p. URL: <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Pinakin-Chaubal-Perspectives-on-Digital-Manufacturing.pdf> (Дата звернення: 13.04.2019).

19. Je-Ho C. The Fourth Industrial Revolution: The Winds of Change Are Blowing in the Steel Industry. *Asian Steel Watch*. 2016. Vol. 02. pp. 6-15.

20. Chang-do K. China is Shifting to the “Smart Factory of the World”. *Asian Steel Watch*. 2016. Vol. 02. pp. 24-31.

21. Романова О.А., Сиротин Д.В. Предпосылки и возможности перепозиционирования металлургии Урала в условиях индустрии 4.0. *Известия УГТУ уральского государственного горного университета*. 2017. Вып. 4(48). С. 100-107. doi <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-100-107>.

22. Ильющенко А.Ф., Савич В.В. История и современное состояние аддитивных технологий в Беларуси, порошки металлов и сплавов для них. *Космічна нау-*

ка і технологія. 2017. Т. 23. № 4. С. 33-45. doi:<https://doi.org/10.15407/knit2017.04.033>.

23. Казахстан: Почему горно-металлургический комплекс (ГМК) лучше остальных секторов промышленности готов к Индустрии 4.0? *Металл Украины и мира*. 18.10.2017. URL: <https://ukrmet.dp.ua/2017/10/18/kazakhstan-pochemu-gorno-metal-lurgicheskij-kompleks-gmk-luchshe-ostalnyh-sektorov-promyshlennosti-gotov-k-industrii-4-0.html> (Дата звернення: 21.03.2019).

24. Product Definitions for Smart Manufacturing. *National Institute of Standards and Technology*. December 03, 2018. URL: <https://www.nist.gov/programs-projects/product-definitions-smart-manufacturing> (Дата звернення: 11.04.2019).

25. Peters H. How could Industry 4.0 transform the Steel Industry? *Future Steel Forum*. Warsaw, 14.-15.6.2017. URL: <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Prof.-Dr-Harald-Peters-Industry-4.0-transform-the-steel-industry.pdf> (Дата звернення: 13.04.2019).

26. Jamrisko, M., Miller, L.J., Lu, W. These Are the World's Most Innovative Countries. *Bloomberg*. 22 Jan. 2019. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-01-22/germany-nearly-catches-korea-as-innovation-champ-u-s-rebounds> (Дата звернення: 18.03.2019).

27. Readiness for the Future of Production Report 2018. *World Economic Forum. In collaboration with A.T. Kearney*. Insight Report. 2018. 254 p. URL: [http://www3.weforum.org/docs/FOP\\_Readiness\\_Report\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf) (Дата звернення: 30.03.2019).

28. Нікіфорова В.А. Металургійна промисловість світу: сучасні виклики та тенденції розвитку (аналітичний огляд). *Економіка промисловості*. 2018. № 1 (81). С. 86-114. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.01.086>.

29. Нікіфорова В.А. Металургійна промисловість світу: зміни у регіональній структурі та їх наслідки для України (аналітичний огляд). *Економіка промисловості*.

2018. № 2 (82). С. 76-101. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.02.076>.

30. Steel – the Permanent Material in the Circular Economy. *World Steel Association*. 2016. 24 p. URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7e0dc90a-3efe-41bc-9fb4-85f9e873dfc7/Steel+The+Permanent+Material+in+the+Circular+Economy.pdf> (Дата звернення: 18.03.2019).

31. Шварцкопф Т. Индустрия 4.0 – стратегия поддержки инновационной промышленности в федеральной земле Северный Рейн-Вестфалия. Возможности для международных компаний. *II Форум бизнеса Северо-Запада*. 15 октября 2015. URL: <https://docplayer.ru/41481378-Industriya-strategiya-podderzhki-innovacionnoy-promyshlennosti-v-federalnoy-zemle-severnoy-reyn-vestfaliya-vozmozhnosti-dlya-mezhdunarodnyh-kompaniy.html> (Дата звернення: 18.03.2019).

32. Steel Facts. A collection of amazing facts about steel. *World Steel Association*. 2018. 67 p.

33. Motyka M., Slaughter A., Amon C. Global renewable energy trends. Solar and wind move from mainstream preferred. *Deloitte*. 2018. 30 p.

34. New Energy Outlook 2018. *Bloomberg*. 2018. URL: <https://bnef.turtil.co/story/neo2018?teaser=true> (Дата звернення: 18.03.2019).

35. Ampyx Power and NLR Jion Forces to Develop Alternative Wind Energy Solutions. *Global Energy World*. Oct. 24, 2018. URL: <http://www.globalenergyworld.com/news/sustainable-energy/2018/10/24/ampyx-power-nlr-jion-forces-develop-alternative-wind-energy-solutions> (Дата звернення: 18.03.2019).

36. Future Scenarios and Implications for the Industry. Shaping the Future of Construction. *World Economic Forum. Prepared in collaboration with The Boston Consulting Group*. March 2018. 32 p.

37. Строительством небоскребов в Японии займутся роботы-собаки. *Аспекты*. 19.10.2018. URL: <http://aspekty.net/2018/>

stroitelstvom-neboskrebov-v-yaponii-zaymutsya-roboty-i-sobaki (Дата звернення: 19.03.2019).

38. Солдатов С. Smart City – город будущего. *СТА*. 2015. № 2. С. 24-35.

39. Панасюк Т. Смарт-города, которые доказали, что будущее уже наступило. *Интернет-портал RaySpace Magazine*. 12.08.2018. URL: <https://psm7.com/technology/5-gorodov-dokazali-budushhee-nastupilo.html> (Дата звернення: 19.03.2019).

40. Rawlinson R. Steel lightens automotive load. *World Steel Association*. April 2017. URL: <http://stories.worldsteel.org/automotive/advanced-high-strength-steel-lightens-automotive-load/> (Дата звернення: 19.03.2019).

41. «Промышленность 4.0»: создание цифрового предприятия. Основные результаты исследования по металлургической отрасли. *PwC*. 2016. 12 p. URL: <https://www.pwc.kz/en/publications/new-2016/metal-key-finding-rus.pdf> (Дата звернення: 26.03.2019).

42. Wheatley M. Amazon partners with satellite communications firm Iridium to deliver IoT services from space. *Silicon ANGLE*. 27 September, 2018. URL: <https://siliconangle.com/2018/09/27/amazon-partners-satellite-communications-firm-iridium-deliver-iot-services-space/> (Дата звернення: 27.03.2019).

43. Smart Manufacturing. *World Steel Association*. 2018. URL: <https://www.worldsteel.org/about-steel/Smart-manufacturing.html> (Дата звернення: 27.03.2019).

44. Арнаутов А., Хазанов Л. Металлургия: завтра уже наступило. *Алгоритм успеха*. 2017. № 1. С. 19-25.

45. Chalabyan A., Jänsch E., Niemann T., Otto T., Zeumer B., Zhuravleva K. How 3-D printing will transform the metals industry. *McKinsey&Company*. August 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-3d-printing-will-transform-the-metals-industry> (Дата звернення: 26.03.2019).

46. Reynolds E. How steel ‘nano’ needles are helping alter brain surgery. *World*

*Steel Association*. September 2018. URL: <https://stories.worldsteel.org/innovation/nano-needle-brain-surgery/> (Дата звернення: 28.03.2019).

47. Розпорядження «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 17 січня 2018 р. № 67-р. *Офіційний вісник України*. 2018. № 16. Ст. 560.

48. Janjua R. Steel digital strategy guided by standardization. *World Steel Association*. 15 June, 2018. URL: <https://www.worldsteel.org/media-centre/blog/2018/Steel-digital-strategy-guided-by-standardisation.html> (Дата звернення: 28.03.2019).

49. Юрчак А. Глобализация – Клиентоцентричность – горизонтальная интеграция, или как ИНТЕРПАЙП проходит цифровую трансформацию. Интервью с Денисом Морозовым, директором по финансам и экономике ИНТЕРПАЙП. *Индустрия 4.0 в Украине*. 23 июня 2018. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2018/06/23/globalization-customer-centricity-horizontal-integration/#more-8274> (Дата звернення: 29.03.2019).

50. Алексей Мордашов: как Индустрия 4.0 меняет управление. *Harvard Business Review Россия*. 30 января 2018 г. URL: <https://hbr-russia.ru/liderstvo/lidery/a24981/> (Дата звернення: 28.03.2019).

51. Wong J.I. Photos: The secret Swiss mountain bunker where millionaires stash their bitcoins. *Quartz*. October 17, 2017. URL: <https://qz.com/1103310/photos-the-secret-swiss-mountain-bunker-where-millionaires-stash-their-bitcoins/> (Дата звернення: 5.04.2019).

52. Smart Factory – умное производство. *IT-Enterprise*. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory> (Дата звернення: 20.04.2019).

## References

1. Schwab, K. (2015, December 12). The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*.



Retrieved from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>.

2. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. (ANO DPO "Sberbank Corporate University", Trans.). Moscow: Eksmo [in Russian].

3. Evstafyev, D. (2017, October 12). The Fourth Industrial Revolution: A Propaganda Myth or "Sign of Trouble"? *Invest Foresight*. Online Business Magazine. Retrieved from <https://www.if24.ru/4-promy-shlennaya-revolutsiya-mif/> [in Russian].

4. World Economic Forum (2018, May). Maximizing the Return on Digital Investments. Digital Transformation Initiative. System Initiative on Shaping the Future of Digital Economy and Society. *World Economic Forum*. In collaboration with Accenture.

5. Helmrich, K. (2019, January 18). Future technologies that will drive Industry 4.0. *World Economic Forum*. Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/future-technologies-will-drive-industry-4-0/>.

6. Breunig, M., Kelly, R., Mathis, R., & Wee, D. (2016, April). Getting the most out of Industry 4.0. *McKinsey Global Institute*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Getting%20the%20most%20out%20of%20Industry%204%20Getting%20the%20most%20out%20of%20Industry%2040.ashx>.

7. Woetzel, J., Sellschop, R., Chui, M., Ramaswamy, S., Nyquist, S., Robinson, H., Roelofsen, O., Rogers, M., & Ross, R. (2017, February). Beyond the supercycle: how technology is reshaping resources. *McKinsey global institute*. In collaboration with McKinsey's global energy & materials practice.

8. Deloitte (2018). The Fourth Industrial Revolution is here – are you ready? *Deloitte Insight*. Retrieved from [https://www.forbes.com/forbes-insights/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-FourthIndustrialRev\\_REPORT\\_FINAL-WEB.pdf](https://www.forbes.com/forbes-insights/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-FourthIndustrialRev_REPORT_FINAL-WEB.pdf).

9. Berg, A., Buffie, E.F., & Zanna, L.-F. (2018, May). Should We Fear the Robot

Revolution? (The Correct Answer is Yes). *International Monetary Fund*. IMF Working Paper No. 18/116.

10. World Economic Forum (2017, January). Mining and Metals Industry. Digital Transformation Initiative. White Paper. *World Economic Forum*. In collaboration with Accenture.

11. Mori, L., Saleh, T., Sellschop, R., & Van Hoey, M. (2018, January). Unlocking the digital opportunity in metals. *McKinsey global institute*. Metals&Mining Practice.

12. McCarthy, A., & Börkey, P. (2018, October). Mapping support for primary and secondary metals production. *OECD*. OECD Environment Working Papers No. 135. OECD Publishing, Paris. doi: <https://doi.org/10.1787/4eaa61d4-en>.

13. de Pee, A., Pinner, D., Roelofsen, O., Somers, K., Speelman, E., & Witteveen, M. (2018, June). Decarbonization of industrial sectors: the next frontier. *McKinsey global institute*.

14. Ferneyhough, G. (2018, February). Steel rises to the challenges of Industry 4.0. *World Steel Association*. Retrieved from <https://stories.worldsteel.org/innovation/steel-rises-challenges-industry-4-0/>.

15. Razavi, L. (2017, March). Tackling water loss in Tokyo. *World Steel Association*. Retrieved from <http://stories.worldsteel.org/infrastructure/tackling-water-loss-tokyo/>.

16. Groeneweg, S. (2019, March 25-26). Tracking steel using blockchain. *OECD Steel Committee*. 86<sup>th</sup> Session of the Steel Committee, Paris. Retrieved from <http://www.oecd.org/sti/ind/86th%20Steel%20Committee%20meeting%20Presentation%20by%20Canada,%20Tracking%20Steel%20Using%20Blockchain.pdf>.

17. Naujok, N., & Stamm, H. (2017, June 14). Industry 4.0 in Steel: Status, Strategy, Roadmap and Capabilities. *Future Steel Forum*. Keynote Presentation, Warsaw. Retrieved from <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Dr-Nils-Naujok-Holger-Stamm-Industry-4.0-in-steel.pdf>.



18. Chaubal, P. (2017, June 14-15). Perspectives on Digital Manufacturing. *Future Steel Forum*. Warsaw, Poland. Retrieved from <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Pinakin-Chaubal-Perspectives-on-Digital-Manufacturing.pdf>.
19. Je-Ho, C. (2016). The Fourth Industrial Revolution: The Winds of Change Are Blowing in the Steel Industry. *Asian Steel Watch*, 02, pp. 6-15.
20. Chang-do, K. (2016). China is Shifting to the “Smart Factory of the World”. *Asian Steel Watch*, 02, pp. 24-31.
21. Romanova, O.A. & Sirotin, D.V. (2017). Prerequisites and opportunities for repositioning of the Urals metallurgy within the Industry 4.0. *News of the Ural State Mining University*, 4(48), pp. 100-107 [in Russian]. doi: <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-100-107>.
22. Iiushchenko, O.F., & Savich, V.V. (2017). Additive technologies, powders of metals and alloys for them. History and current production state in Belarus. *Space Sci. & Technol*, 23(4), pp. 33-45 [in Russian]. doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.04.033>.
23. The Ukrainian Metal (2017, October 18). Kazakhstan: Why is the mining and metallurgical complex (MMC) better than the rest of the industrial sectors ready for Industry 4.0? Retrieved from <https://ukrmet.dp.ua/2017/10/18/kazaxstan-pochemu-gorno-metallurgicheskij-kompleks-gmk-luchshe-ostalnyx-sektorov-promyshlennosti-gotov-k-industrii-4-0.html> [in Russian].
24. National Institute of Standards and Technology (2018, December 03). Product Definitions for Smart Manufacturing. *NIST*. Retrieved from <https://www.nist.gov/programs-projects/product-definitions-smart-manufacturing>.
25. Peters, H. (2017, June 14-15). How could Industry 4.0 transform the Steel Industry? *Future Steel Forum*. Warsaw, Poland. Retrieved from <https://futuresteelforum.com/content-images/speakers/Prof.-Dr-Harald-Peters-Industry-4.0-transform-the-steel-industry.pdf>.
26. Jamrisko, M., Miller, L.J. & Lu, W. (2019, January 22). These Are the World’s Most Innovative Countries. *Bloomberg*. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-01-22/germany-nearly-catches-korea-as-innovation-champ-u-s-rebounds>.
27. World Economic Forum (2018). Readiness for the Future of Production Report 2018. *World Economic Forum*. In collaboration with A.T. Kearney. Insight Report. Retrieved from [http://www3.weforum.org/docs/FOP\\_Readiness\\_Report\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf).
28. Nikiforova, V.A. (2018). World steel industry: current challenges and development trends (analytical overview). *Econ. promisl.*, 1 (81), pp. 86-114. doi: <https://doi.org/10.15407/econindustry2018.01.086>.
29. Nikiforova, V.A. (2018). World steel industry: changes in the regional structure and their effects for Ukraine (analytical overview). *Econ. promisl.*, 2 (82), pp. 76-101. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.02.076>.
30. World Steel Association (2016). Steel – the Permanent Material in the Circular Economy. *Worldsteel*. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7e0dc90a-3efe-41bc-9fb4-85f9e873dfc7/Steel+-The+Permanent+Material+in+the+Circular+ Economy.pdf>.
31. Schwarzkopf, T. (2015, October 15). Industry 4.0 – strategy to support of innovative industries in North Rhine-Westphalia. Opportunities for international companies. *II Forum of the Northwest Business*. Retrieved from <https://docplayer.ru/41481378-Industriya-strategiya-podderzhki-innovacionnoy-promyshlennosti-v-federalnoy-zemle-severnny-reyn-vestfaliya-vozmozhnosti-dlya-mezhdunarodnyh-kompaniy.html> [in Russian].
32. World Steel Association (2018). Steel Facts. A collection of amazing facts about steel. *Worldsteel*. Retrieved from [https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:ab8be93e-1d2f-4215-9143-4eba6808bf03/worldsteel-SteelFACTS\\_web.pdf](https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:ab8be93e-1d2f-4215-9143-4eba6808bf03/worldsteel-SteelFACTS_web.pdf).

33. Motyka, M., Slaughter, A., & Amon, C. (2018). Global renewable energy trends. Solar and wind move from mainstream preferred. *Deloitte*.
34. Bloomberg (2018). New Energy Outlook 2018. *Bloomberg*. Retrieved from <https://bnef.turtl.co/story/neo2018?teaser=true>
35. Global Energy World (2018, October 24). Ampyx Power and NLR Jion Forces to Develop Alternative Wind Energy Solutions. *Global Energy World*. Retrieved from <http://www.globalenergyworld.com/news/sustainable-energy/2018/10/24/ampyx-power-nlr-jion-forces-develop-alternative-wind-energy-solutions>.
36. World Economic Forum (2018, March). Future Scenarios and Implications for the Industry. Shaping the Future of Construction. *World Economic Forum. Prepared in collaboration with The Boston Consulting Group*.
37. Aspekty (2018, October 19). Construction of skyscrapers in Japan will engage robots-dogs. *Aspekty*. Retrieved from <http://aspekty.net/2018/stroitelstvom-nebosk-rebov-v-yaponii-zaymutsya-robotyi-sobaki/>.
38. Soldatov, S. (2015). Smart City – city of the future. *CTA (Contemporary Technologies in Automation)*, 2, pp. 24-35 [in Russian].
39. Panasyuk, T. (2018, August 12). Smart cities that have proven that the future has come. *PaySpace Magazine*. Retrieved from <https://psm7.com/technology/5-gorodov-dokazali-budushhee-nastupilo.html> [in Russian].
40. Rawlinson, R. (2017, April). Steel lightens automotive load. *World Steel Association*. Retrieved from <http://stories.worldsteel.org/automotive/advanced-high-strength-steel-lightens-automotive-load/>.
41. PwC (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. Metal key finding. *PwC Kazakhstan*. Retrieved from <https://www.pwc.kz/en/publications/new-2016/metal-key-finding-rus.pdf> [in Russian].
42. Wheatley, M. (2018, September 27). Amazon partners with satellite communications firm Iridium to deliver IoT services from space. *SiliconANGLE*. Retrieved from <https://siliconangle.com/2018/09/27/amazon-partners-satellite-communications-firm-iridium-deliver-iot-services-space/>.
43. World Steel Association (2018). Smart Manufacturing. *Worldsteel*. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/about-steel/Smart-manufacturing.html>.
44. Arnautov, A., & Khazanov, L. (2017). Metallurgy: tomorrow has come. *Algoritm uspekha*. 1, pp. 19-25. [in Russian].
45. Chalabyan, A., Jansch, E., Niemann, T., Otto, T., Zeumer, B., & Zhuravleva, K. (2017, August). How 3-D printing will transform the metals industry. *McKinsey global institute*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-3d-printing-will-transform-the-metals-industry>.
46. Reynolds, E. (2018, September). How steel ‘nano’ needles are helping alter brain surgery. *World Steel Association*. Retrieved from <https://stories.worldsteel.org/innovation/nano-needle-brain-surgery/>.
47. The Cabinet of Ministers of Ukraine (2018, February 23). Decree On approval of the concept of the development of the digital economy and society of Ukraine for 2018-2020 and approval of the plan of measures for its implementation No 67-p of 17 January 2018. *Oficijnyj visnyk Ukrainy*, 16, article 560 [in Ukrainian].
48. Janjua, R. (2018, June 15). Steel digital strategy guided by standardization. *World Steel Association*. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/media-centre/blog/2018/Steel-digital-strategy-guided-by-standardisation.html>.
49. Yurchak, A. (2018, June 23). Globalization – Customer centricity – Horizontal integration, or how INTERPIPE goes through a digital transformation. Interview with Denis Morozov, INTERPIPE Chief Financial Officer. *Industriya 4.0 v Ukraini*. Retrieved from <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2018/06/23/globalizatio-customer-centricity-horizantal-integration/#more-8274> [in Russian].

50. Mordashov, A. (2018, January 30). Alexey Mordashov: How Industry 4.0 changes management. *Harvard Business Review Russia*. Retrieved from <https://hbr-russia.ru/liderstvo/lidery/a24981/> [in Russian].

51. Wong, J. I. (2017, October 17). Photos: The secret Swiss mountain bunker where millionaires stash their bitcoins.

*Quartz*. Retrieved from <https://qz.com/1103310/photos-the-secret-swiss-mountain-bunker-where-millionaires-stash-their-bitcoins/>.

52. IT-Enterprise (2018). Smart Factory – smart manufacturing. *IT-Enterprise*. Retrieved from <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory> [in Russian].

**Александр Иванович Амоша,**

*академик НАН Украины*

e-mail: amocha@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0189-3819>;

**Вера Анатольевна Никифорова,**

*канд. экон. наук, с.н.с.*

Институт экономики промышленности НАН Украины

03057, Украина, г. Киев, ул. М. Капнист, 2

e-mail: nikiforova\_V@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0001-7644-5821>

## МИРОВОЙ ОПЫТ СТАНОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СМАРТ-ПРОИЗВОДСТВ: ОСОБЕННОСТИ, НАПРАВЛЕНИЯ, ПОСЛЕДСТВИЯ

Статья посвящена исследованию ключевых особенностей, главных направлений и основных последствий становления металлургических смарт-производств в зарубежных странах – ведущих металлопроизводителях. Его актуальность объясняется стремительным развитием в мире новейших технологий, что приводит к необходимости стратегических преобразований в отрасли с акцентом на использовании «умных» решений и технологий.

Выявлено, что историческими предпосылками смартизации металлургической промышленности является то, что она успешно развивалась на протяжении всех промышленных революций, а металл до сих пор является и будет оставаться одним из основных конструкционных материалов; ее актуальность связана с повышением эффективности деятельности металлургических предприятий и необходимостью соответствовать современным требованиям контрагентов; необходимость видится в будущем поступательном развитии отрасли, так как существует опасность остаться в стороне от ряда передовых экономических процессов. Главной целью становления металлургических смарт-производств выступает повышение адаптивности отрасли к динамичным изменениям во внешней среде.

Определено, что ядром развития смарт-металлургии является цифровизация отрасли с использованием таких «умных» решений и технологий, как интернет вещей, смарт-устройства, работы, искусственный интеллект, большие данные, аддитивные технологии, предиктивная аналитика и т. д. Однако поскольку новейшие технологии разрабатываются и совершенствуются с большой скоростью, главная задача заключается в выделении основных точек приложения и направлений внедрения этих технологий.

На основе исследования особенностей использования смарт-технологий в производственной, организационно-экономической и социальной сферах деятельности металлургических предприятий выявлено, что быстрее всего их внедрение происходит в организационно-экономической сфере, где главным направлением выступает повышение клиентоориентированности бизнес-модели, медленнее всего – в производственной сфере, где акцент

делается на повышении эффективности деятельности метпредприятий. Социальная сфера отличается средним уровнем по скорости смартизации и фокусируется на улучшении условий и безопасности труда, изменении требований к рабочей силе.

Определено, что главными положительными последствиями смартизации металлургической промышленности является повышение ее ресурсоэффективности и экологичности, негативными – существенный рост кибернетических угроз и высвобождение сотрудников в краткосрочной перспективе. Более неоднозначным представляется изменение роли человека в производственном процессе, что может привести как к уменьшению ошибок, вызванных человеческим фактором, так и стать причиной недостаточной гибкости реагирования при возникновении форс-мажорных ситуаций.

*Ключевые слова:* металлургическая промышленность, мировой опыт, смарт-производство, цифровизация, производственная, организационно-экономическая и социальная сферы деятельности металлургических предприятий, исторические предпосылки, актуальность, необходимость и последствия внедрения «умных» технологий.

**Oleksandr I. Amosha,**

*Academician of the NAS of Ukraine,*

e-mail: amocha@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0189-3819>;

**Vira A. Nikiforova,**

*PhD in Economics*

Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine

03057, Ukraine, Kyiv, 2 M. Kapnist Str.

e-mail: nikiforova\_V@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0001-7644-5821>

## **WORLD EXPERIENCE OF STEEL SMART PRODUCTIONS DEVELOPMENT: FEATURES, TRENDS, CONSEQUENCES**

The paper deals with the study of key features, main directions and basic consequences of steel smart productions' development in countries-leading metal producers. Its relevance is explained by the rapid advancements in emerging technologies in the world, which leads to the need for strategic transformation in the steel industry with an emphasis on the use of smart solutions and technologies.

The paper revealed that the historical prerequisites for steel industry's smartization are that it has developed successfully throughout all industrial revolutions, and the metal is still and will remain one of the main structural materials. This process' relevance is associated with an efficiency increase of metal enterprises and the urge to meet modern requirements of counterparties. The latter is seen in the progressive development of the industry, as there is a danger of staying away from a number of advanced economic processes. The main goal of steel smart productions development is to increase the adaptability of the industry to dynamic changes in the external environment.

It was determined that the core of smart steel industry development is its digitalization through smart solutions and technologies, such as the Internet of Things, smart devices, robots, artificial intelligence, big data, additive technologies, predictive analytics and so on. However, since the emerging technologies are developing and improving with high speed, the main task is to identify the basic points of application and directions of introduction of these technologies.

Based on the study of features of smart technologies' implementation in the production, organizational, economic and social areas of steel enterprises, it was revealed in the paper that their fastest implementation occurs in the organizational and economic spheres, where the main direction is increasing the customization of the business model, the slowest one – in the production area, where the emphasis is on improving the efficiency of steel enterprises. The social sphere is distinguished by an average level of the rate of smartization and focuses on improving working conditions and safety and changing labor requirements.

It is determined that the main positive consequence of the smartization of steel industry is an increase of resource efficiency and environmental friendliness; the negative consequences are a significant increase in cyber threats and employees' release in the short term. It seems more ambiguous the role of human in the production processes, which can lead to both: a reduction in errors, caused by the human factor, and a trigger of insufficient flexibility in response to force majeure situations.

*Keywords:* steel industry, world experience, smart production, digitalization, production, organizational, economic and social areas of steel enterprises, historical prerequisites, relevance, necessity and consequences of the introduction of smart technologies.

JEL: L61; L52; F01; O14; O31; O32

*Формати цитування:*

Амоша О. І., Нікіфорова В. А. Світовий досвід становлення металургійних смарт-виробництв: особливості, напрями, наслідки. *Економіка промисловості*. 2019. № 2 (86). С. 84-106. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.02.084>

Amosha, O. I., & Nikiforova, V. A. (2019). World experience of steel smart productions development: features, trends, consequences. *Econ. promisl.*, 2 (86), pp. 84-106. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.02.084>

*Надійшла до редакції 24.04.2019 р.*