



<http://doi.org/10.15407/econindustry2025.01.038>

УДК 330.4:330.322:338.45(430)

JEL: C02, E23, O14

Олексій Олександрович ОХТЕНЬ¹, канд. екон. наук, старший науковий співробітник

E-mail: aokhten@gmail.com; ORCID; <https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>

¹ Інститут економіки промисловості НАН України

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

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІНВЕСТИЦІЙ У СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ НА РОЗВИТОК ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ПРИКЛАДІ НІМЕЧЧИНИ

На прикладі Німеччини проаналізовано вплив інвестицій у смарт-технології на розвиток переробної промисловості з використанням виробничої функції, яка додатково враховує чинник цифровізації у формі нематеріальних активів, які в обраній галузі складаються майже виключно з програмного забезпечення, баз даних, а також науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт. Посилення впливу цього чинника дає більший приріст доданої вартості, ніж зростання обсягу капіталу, тому стимулювання розвитку смарт-промисловості має здійснюватися шляхом спрямування інвестицій у проекти, які сприяють цифровізації. Встановлено, що поточна структура інвестицій у переробну промисловість України демонструє більш ніж десятикратне відставання від Німеччини за показником співвідношення інвестицій у цифровізацію до інвестицій у машини та обладнання.

Ключові слова: смарт-промисловість, переробна промисловість, інвестиції, цифровізація, нематеріальні ресурси, моделювання, виробнича функція.

Сучасний етап розвитку економіки характеризується активним упровадженням смарт-технологій, тобто інноваційних рішень, які інтегрують датчики, автоматизацію, штучний інтелект та Інтернет речей, для підвищення ефективності, точності та гнучкості виробничих процесів (Jain, 2023). Масове використання таких технологій стає ключовим елементом конкурентоспроможності не лише окремих підприємств, але й країн у цілому. Країни-лідери в цій сфері, зокрема США, Китай та члени ЄС, здійснюють різні заходи щодо стимулювання розвитку смарт-промисловості, включаючи бюджетні та фіскальні, сумарною вартістю в десятки мільярдів доларів на рік (детальний ана-

ліз таких заходів стимулювання у провідних країнах наведено в роботі (Охтень, 2023)), проте менш економічно розвинуті країни не мають ресурсів для такого широкого використання стимулів, натомість їм необхідно вибирати найефективніші аспекти спрямування обмежених ресурсів, що потребує попередньої оцінки потенційного впливу інвестицій на результати діяльності промисловості. Перспективним способом обґрунтування інвестицій у створення смарт-підприємств і трансформацію існуючих підприємств у смарт- є застосування інструментів економіко-математичного моделювання (Vovk, 2021). Такий підхід дозволяє проводити експерименти з проектною системою, ана-

Цитування: Охтень О. О. Моделювання впливу інвестицій у смарт-технології на розвиток переробної промисловості на прикладі Німеччини. *Економіка промисловості*. 2025. № 1 (109). С. 38–49. <http://doi.org/10.15407/econindustry.2025.01.038>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

лізувати її властивості, оцінювати ефективність, а також передбачати можливі проблеми та помилки, що особливо актуально в контексті визначення оптимальних параметрів бюджетно-фінансової та фінансової політики держави щодо стимулювання розвитку смарт-промисловості й за умов недостатньої ефективності державної політики щодо стимулювання виробничих галузей в Україні (Шубалий, 2022).

Метою статті є аналіз впливу інвестицій у смарт-технології на розвиток переробної промисловості на прикладі Німеччини (економічно розвинутої країни, яка лідирує у сфері впровадження смарт-технологій у промисловості) з використанням моделі виробничої функції, яка б урахувала не тільки традиційні виробничі чинники, такі як праця та капітал, але і цифровізацію.

Огляд зарубіжного практичного досвіду економіко-математичного моделювання розвитку промисловості в умовах переходу до смарт-технологій свідчить, що таке моделювання не потребує створення радикально нових типів моделей і може бути реалізоване шляхом розвитку стандартних моделей з урахуванням специфічних чинників виробництва та/або інституційних особливостей конкретної країни чи території. Зокрема, у глобальній моделі промисловості Global Industry Model (Oxford Economics, 2025) від консалтингової компанії Oxford Economics, системі Energy Policy Simulator (Energy Innovation Policy & Technology LLC, 2025) від американського аналітичного центру в галузі енергетики та клімату Energy Innovation та системі Global Economic Data & Forecasts (Moody's Analytics, 2025) від консалтингової компанії Moody's Analytics використовуються моделі виробничої функції, адаптовані до конкретних потреб відповідної сфери моделювання. У даній статті в контексті сучасних світових тенденцій також використовуватиметься підхід до моделювання на основі виробничої функції.

Вплив цифровізації на виробничі процеси в будь-якій галузі економіки, особливо в переробній промисловості, здійснюється через включення у виробничий процес чинників, заснованих на нових технологічних принципах смарт-промисловості. Цифровізація виробництва не можлива без трьох ключових елементів:

- приведення машин й обладнання у відповідність до нового технологічного процесу

(придбання нових, модернізація або адаптація існуючих);

- упровадження програмного забезпечення та баз даних (ПЗ і БД), а також різноманітних елементів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР);

- навчання персоналу використання машин, обладнання та програмних засобів.

Отже, стимулювання розвитку смарт-промисловості має здійснюватися шляхом спрямування інвестицій у зазначені сфери в прив'язці до конкретних технологій, оскільки просто стимулювати впровадження будь-якого програмного забезпечення й обладнання або навчання персоналу буде неефективним, натомість слід зосередитися на конкретних технологіях, що належать до смарт-промисловості. Для розроблення конкретних рекомендацій щодо стимулювання розвитку смарт-промисловості (зокрема фінансового та бюджетно-фінансового) необхідно оцінити вплив інвестицій у зазначені три чинники виробництва на результати діяльності переробної промисловості.

Для цього, як обґрунтовано в роботі (Охтень, 2021), слід використовувати модель виробничої функції, модифіковану з урахуванням поставленого завдання. Як об'єкт дослідження доцільно обрати переробну промисловість, оскільки саме вона є одночасно основною сферою докладання (споживачем) нових технологій та їх джерелом (постачальником). Серед усіх галузей промисловості у будь-якій країні саме переробна (а не, наприклад, добувна промисловість або сільське господарство) найбільш повно відображає ступінь розвитку смарт-технологій.

Незалежною змінною в моделі виступатиме додана вартість переробної промисловості в грошовому вираженні в порівнянних цінах: V_t , де t — рік.

Факторами (незалежними змінними, що впливають на залежну) моделі будуть:

K_t — вартість машин і обладнання в порівнянних цінах;

L_t — витрати праці в грошовому вираженні в порівнянних цінах;

D_t — вартісне вираження фактора цифровізації та НДДКР у порівнянних цінах.

За складом факторів модель схожа на класичні виробничі функції (включає, зокрема, фактори праці та капіталу), однак адаптована до досліджуваної сфери, а саме:

1. Результуючим показником виступає додана вартість, а не загальний обсяг виробництва, оскільки важливим є саме сумарний внесок підприємств галузі у створення додаткової цінності, а не випуск продукції загалом, до якого включено вартість сировини, матеріалів та іншої проміжної продукції. Використання доданої вартості дозволяє уникнути багаторазового врахування однієї і тієї самої вартості, створеної підприємствами-суміжниками. Крім того, продуктивність праці та капіталу найкраще вимірюється через додану вартість, оскільки вона безпосередньо пов'язана з ефективністю використання ресурсів. Висока додана вартість при однаковому обсязі виробництва вказує на більш ефективне використання ресурсів і більшу продуктивність. Також обсяг виробництва може збільшуватися за рахунок зростання обсягу витрат, що не завжди пов'язано з поліпшенням продуктивності.

2. Як фактор капіталу використано не всі основні та/або оборотні фонди, а лише вартість машин та обладнання. Це обґрунтовано тим, що машини й обладнання безпосередньо беруть участь у виробничому процесі, перетворюючи сировину на готову продукцію, у той час як до основних фондів у цілому включають різноманітні активи (наприклад, будівлі, транспортні засоби, офісне обладнання), які можуть не мати прямого впливу на виробництво, через що облік їх вартості значно викривив би аналіз. Крім того, вартість машин і обладнання зазвичай прямо пропорційна їх продуктивності. Сучасні дорогі машини можуть виконувати роботу швидше і з меншими витратами ресурсів, що відображає їх внесок у виробничу функцію. Також вартість машин і обладнання точніше відображає технологічні зміни в галузі: наприклад, упровадження нових технологій або автоматизація виробництва безпосередньо збільшують вартість і продуктивність обладнання, у той час як інші основні фонди (наприклад, будівлі та офісне обладнання) можуть лише незначно змінюватися в ціні з урахуванням технологічних інновацій.

3. Фактор праці враховано у вигляді витрат праці в грошовому вираженні, а не як витрати часу або чисельність працівників галузі. Такий підхід пояснюється тим, що, на відміну від загальної кількості відпрацьованих годин або чисельності працівників, витрати на опла-

ту праці одразу враховують вартість праці в грошовому вираженні, що полегшує аналіз і порівняння між різними підприємствами або галузями. Сума заробітної плати відображає не лише кількість праці, але і її якість та продуктивність. Працівники з більш високою продуктивністю, як правило, отримують більш високу заробітну плату, що робить цей показник більш точним при оцінюванні внеску праці у виробничий процес. Крім того, витрати на оплату праці тісно пов'язані з іншими факторами виробництва, такими як капітал: працівники з більш високою зарплатою можуть використовувати більш дороге і продуктивне обладнання, що створює синергетичний ефект у виробничій функції.

4. Як окремий фактор до моделі додано вартісне вираження цифровізації та НДДКР. Нові технології безпосередньо сприяють створенню нової продукції, процесів, що значною мірою підвищує конкурентоспроможність підприємства. Інновації, розроблені в результаті НДДКР, можуть призвести до кардинального поліпшення якості продукції, зниження витрат і відкриття нових ринків. На сучасному етапі розвитку виробництва цифровізація і НДДКР фактично стали окремими факторами виробництва, оскільки можуть впливати на виробництво навіть при незмінних інших факторах, наприклад, використання цифрових систем проектування значно скорочує терміни розроблення продукції, аналіз великих даних дозволяє визначити оптимальні параметри роботи та обслуговування існуючого обладнання, а також сформувати більш ефективні робочі графіки співробітників навіть без їх перенавчання.

Таким чином, включення наведених факторів у виробничу функцію в зазначеному складі та формі допомагає більш точно і реалістично враховувати вплив праці, капіталу і специфічного фактора смарт-промисловості на виробництво, а також спрощує вимір й аналіз у контексті вирішення поставленого завдання щодо оцінювання потенційного впливу заходів стимулювання.

Якщо витрати на оплату праці та вартість машин і обладнання є стандартними статистичними показниками, то питання про те, який показник слід використовувати як фактор цифровізації та НДДКР, залишається відкритим. Було б правильним розподілити основні засоби

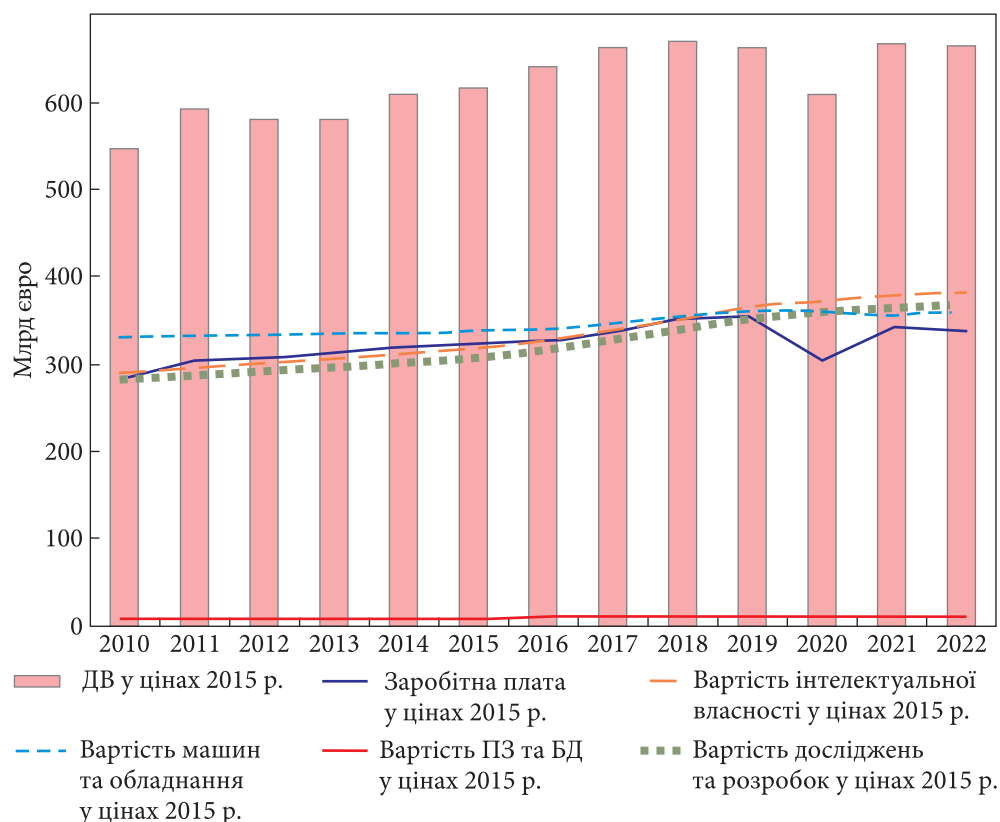


Рис. 1. Динаміка доданої вартості та її основних факторів у переробній промисловості Німеччини за 2010—2022 рр. (у цінах 2015 р.), млн євро
Джерело: складено за даними статистичної бази ОЕСР (OECD, 2025a; OECD, 2025b).

(особливо машини та обладнання) на категорії «смарт» і «не смарт» (традиційні) та враховувати їх окремо. Наприклад, звичайний токарний верстат належить до традиційних основних засобів, а цифровий токарний верстат із розумними датчиками, керований інформаційною виробничою системою, — до машин і обладнання категорії «смарт». Однак такий централізований облік не здійснюється. Причому це характерно не лише для «відсталих» країн, але і для лідерів цифровізації виробництва. Так, автори роботи (Yagafarova, 2024), присвяченої розвитку смарт-промисловості в Нідерландах, констатували відсутність необхідної статистики та з метою моделювання й аналізу на свій розсуд розподілили галузі на «смарт» і «не смарт». Такий підхід не може відобразити впровадження смарт-технологій у розрізі галузей, оскільки очевидно, що в межах кожної галузі та навіть кожного підприємства такі технології впроваджуються нерівномірно. З урахуванням наявної статистики розумною альтернативою є використання показників нематеріальних активів.

На рис. 1 наведено динаміку основних факторів, що визначають створення доданої вартості (ДВ) у переробній промисловості Німеччини. Як приклад обрано Німеччину, тому що саме в цій країні, яка є лідером промисловості Європи, активно впроваджуються цифрові технології.

У Німеччині протягом 2010—2022 рр. ВДВ у переробній промисловості мала помірне зростання синхронно з основними факторами виробництва, які поділяються на три приблизно рівні частини (вартість машин і обладнання, заробітна плата та вартість інтелектуальної власності, що складається з ПЗ і БД + НДДКР). При цьому графік вартості машин та обладнання істотно більш плоский порівняно з іншими факторами, що свідчить про посилення ролі інтелектуальної власності у створенні ДВ. Також звертає увагу пов'язаний із пандемією COVID «провал» 2020 р. як у ДВ, так і в заробітній платі. У зв'язку з цим даний період доцільно виключити з подальших розрахунків як аномальний через порушення принципу рівних умов.

Структуру специфічних для переробної промисловості основних засобів Німеччини наведено в табл. 1. З усіх нематеріальних активів у таблицю включені лише інтелектуальна власність, у тому числі ПЗ і БД, а також дослідження та розробки (НДДКР), оскільки всі інші категорії (такі як права на твори мистецтва, ліцензії на видобуток корисних копалин та ін.) не актуальні для переробної промисловості та їх вартість у даній галузі є настільки малою, що нею можна знехтувати.

Дані таблиці дозволяють дійти таких висновків:

- вартість інтелектуальної власності в 2010-2022 рр. збільшувалася суттєво більш високими темпами, ніж вартість машин та обладнання: якщо в 2010 р. вартість інтелектуальної власності була на 12 % менше вартості машин і обладнання, то в 2022 р. вона вже на 6 % більше. Це ще раз підкреслює, що саме інтелектуальна власність є основною рушійною силою розвитку промисловості в умовах смарт-виробництва, а також перспективність використання цього показника як критерію оцінки рівня смарт-компонента в промисловості;
- інтелектуальна власність у переробній промисловості практично повністю складається з ПЗ і БД, а також досліджень і розробок (НДДКР), причому в 2010-2022 рр. вартість ПЗ і БД зростала значно швидше вартості НДДКР (зростання більш ніж 1,5 і 1,3 раза відповідно).

Тобто в розвитку переробної промисловості все більшу роль відіграють ПЗ і БД, які і є невід'ємною частиною смарт-переходу в промисловості, оскільки жодна смарт-технологія не працює без відповідного програмного забезпечення та систем зберігання й обробки даних.

Збільшення обсягів інтелектуальної власності (ІВ) у переробній промисловості (складається в цій галузі майже виключно з ПЗ і БД, а також НДДКР) та статистична залежність між вартістю ІВ і доданою вартістю, включаючи зростання доданої вартості в умовах мінімальної зміни вартості машин і обладнання, свідчать на користь можливості використання ІВ як доступного статистичного смарт-фактора за відсутності в статистиці поділу основних фондів на «смарт» і «не смарт», а також на користь включення ІВ до моделі виробничої функції як окремого фактора.

Кореляційний аналіз взаємозв'язку між окремими факторами і доданою вартістю (табл. 2) повністю підтверджує вищенаведені висновки.

Так, дуже високу кореляцію з ДВ показує заробітна плата. Це пов'язано з тим, що вона тісно пов'язана з обсягами виробництва та максимально швидко реагує на їх коливання. Найменшу кореляцію демонструють основні активи, оскільки не весь їхній обсяг безпосередньо бере участь у виробничому процесі. Вартість машин і обладнання, а також вартість інтелектуальної власності також показують

Таблиця 1. Вартість основних засобів у переробній промисловості Німеччини за 2010—2022 рр. (у цінах 2015 р.), млн євро

Рік	Основні засоби	Вартість машин та обладнання	Вартість інтелектуальної власності, у тому числі:		
			усього	ПЗ і БД	НДДКР
2010	1569242,1	331019,3	290407,5	8029,6	282452,0
2011	1566307,1	332425,8	294901,3	8409,6	286541,9
2012	1566905,8	333956,0	301376,1	8968,7	292434,1
2013	1565125,5	334513,4	305543,9	9370,5	296187,3
2014	1566933,7	335456,1	311849,1	9837,6	302015,6
2015	1571297,0	337758,0	318030,0	10295,0	307735,0
2016	1581733,0	341476,0	327134,0	10797,0	316337,0
2017	1597162,6	346432,0	339165,6	11474,9	327693,5
2018	1619317,0	353461,5	352133,7	12239,2	339905,5
2019	1644405,4	361382,1	365875,9	12526,4	353352,8
2020	1653900,0	358833,1	372976,5	12565,6	360403,7
2021	1660952,9	357896,9	378094,0	12527,5	365548,8
2022	1669138,0	359538,3	382073,2	12624,5	369428,9

Джерело: складено за (OECD, 2025a; OECD, 2025b).

високу кореляцію з обсягом ДВ, що свідчить про доцільність їх включення до моделі. Для вартості ПЗ і БД коефіцієнт кореляції є максимальним, а отже, саме цей фактор виробництва найбільш активно розвивається в умовах переходу до смарт-промисловості. Тим не менш його абсолютні значення поки ще занадто малі (у 2022 р. — близько 0,7 % від загальної вартості основних засобів), тому як фактор «смартизації» доцільно обрати вартість усієї інтелектуальної власності, яка в переробній промисловості складається з вартості ПЗ і БД та вартості НДДКР.

Як обґрунтовано в роботі (Охтень, 2021), оптимальною формою функціональної залежності ДВ від факторів виробництва є мульти-

Таблиця 2. Кореляція між факторами виробництва і ДВ у переробній промисловості Німеччини за період 2010—2022 рр. (у цінах 2015 р.)

Показник	Коефіцієнт кореляції з ДВ
Основні активи	0,7887
Вартість машин та обладнання	0,8900
Заробітна плата	0,9567
Вартість інтелектуальної власності, у тому числі:	0,9036
вартість ПЗ і БД	0,9606
вартість досліджень і розробок	0,8989

Джерело: розраховано автором.

плікативна виробнича функція. Для врахування фактора «смартизації» до неї буде додано вартісне вираження фактора цифровізації (вартість ПЗ і БД + вартість НДДКР), і модель матиме такий вигляд:

$$V_t = A \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^\beta \cdot D_t^\gamma,$$

де V_t — сума ДВ в t -му році; A — коефіцієнт масштабу; K_t — вартість машин і обладнання в t -му році; L_t — сума заробітної плати по всій галузі в t -му році; D_t — вартість, ПЗ + БД і НДДКР в t -му році; α, β, γ — коефіцієнти при змінних капіталу, праці та фактора смартизації відповідно; з метою забезпечення порівнянності й полегшення інтерпретації результатів приймається, що всі коефіцієнти більше 0 і $\alpha + \beta + \gamma = 1$.

Усі вартісні показники враховуються у порівнянних цінах (фіксованих цінах 2015 р.).

Параметризацію виконано на основі даних щодо переробної промисловості Німеччини за 2010—2022 рр. із використанням функції «пошук рішення» в пакеті Microsoft Excel, а також методу пошуку таких значень коефіцієнтів, за яких квадратне відхилення розрахункових значень від фактичних буде найменшим (табл. 3).

Розрахункові значення є дуже близькими до фактичних, середня помилка апроксимації становить 1,29 %, максимальна — 2,67, а мінімальна — 0,03 %. При цьому з розрахунків виключено аномальний 2020 р. (табл. 4).

Таблиця 3. Результати параметризації та перевірки адекватності моделі (у цінах 2015 р.), млн євро

Рік	Вартість машин та обладнання	Заробітна плата	Вартість інтелектуальної власності	ВДВ		Відхилення, %
				факт	розрахунок	
2010	331019,28	283007,62	290407,50	545690,06	551040,41	0,98
2011	332425,81	303400,22	294901,35	591133,44	578043,98	2,21
2012	333956,00	306632,83	301376,10	580542,30	585455,66	0,85
2013	334513,42	312837,43	305543,88	580172,84	595030,38	2,56
2014	335456,14	322129,15	311849,06	609175,33	609385,55	0,03
2015	337758,00	323144,00	318030,00	615764,00	614171,69	0,26
2016	341476,00	326708,84	327134,00	639840,37	623705,74	2,52
2017	346432,03	338979,03	339165,64	662993,10	645273,79	2,67
2018	353461,47	352410,96	352133,67	668966,01	669111,46	0,02
2019	361382,12	353284,22	365875,94	661330,54	678565,45	2,61
2020	358833,15	303400,22	372976,53	609113,75	619651,29	-
2021	357896,86	341746,81	378093,97	666318,22	669522,85	0,48
2022	359538,33	337656,05	382073,16	664409,36	666668,95	0,34
Середнє абсолютне відхилення						1,29

Джерело: складено на основі власних розрахунків.

Таблиця 4. Значення коефіцієнтів при факторах моделі й еластичності

Коефіцієнт	Значення
Коефіцієнт масштабування	1,90
Фактор капіталу (K)	0,12
Фактор праці (L)	0,62
Фактор смартизації (D)	0,26

Джерело: розраховано на основі моделі.

Отже, найбільший вплив на створювану ДВ має фактор праці: при зростанні сумарної заробітної плати на 1 % ДВ збільшується на 0,62 %. Це пояснюється як прямою залежністю витрат праці від обсягів виробництва, так і посиленням ролі кваліфікованої праці в промисловому виробництві з ускладненням виробничого процесу. При цьому зростання вартості машин і обладнання на 1 % приводить до збільшення ДВ на 0,12 %, а для фактора смартизації таке збільшення становить 0,26 %. Таким чином, зростання вартості ПЗ, БД і НДДКР у переробній промисловості Німеччини має в середньому приблизно в 2 рази більш виражений ефект на створення ДВ, ніж зростання вартості машин і обладнання, що дозволяє дійти такого важливого висновку для розвитку промисловості в умовах упровадження смарт-технологій: для більш ефективного розвитку переробної промисловості необхідно стимулювати інвестиції в обладнання і технології, пов'язані з упровадженням ПЗ, БД і НДДКР. Безумовно, на практиці неможливо впроваджувати нові технології в переробній промисловості, збільшуючи лише один з факторів виробництва, оскільки кожен новий або вдосконалений елемент виробничого процесу обов'язково включає працю, капітал і нематеріальні активи (наприклад, ПЗ і виробниче ноу-хау). Тому неможливо вкласти ресурси в окремих найефективніший чинник, оскільки інвестувати в нього можна тільки в поєднанні з інвестиціями в інші чинники в рамках єдиного технологічного процесу. Більш доцільним є вибір на користь процесів і технологій з оптимальним (за критерієм збільшення ДВ в умовах розвитку смарт-промисловості) поєднанням факторів. Тобто якщо в умовах обмежених ресурсів необхідно зробити вибір між стимулюванням проектів, які збільшують лише вартість машин та обладнання (наприклад, на 100 млн євро), та проектів, які також збільшу-

ють вартість фактора смартизації (припустимо, вартість машин і обладнання — на 70 млн євро і вартість БД і НДДКР — на 30 млн), то вибір слід зробити на користь другого варіанта, оскільки за розрахунками на основі моделювання це приведе до більшого економічного ефекту порівняно з інвестиціями лише в матеріальні фактори виробництва.

Запропонованій моделі, як і всім іншим, властиві переваги та недоліки. Переваги пов'язані з можливостями її практичного використання, а саме:

- 1) переоцінка впливу змін факторів на ДВ;
- 2) використання як інструменту оптимізації розподілу обмежених ресурсів (наприклад, шляхом додавання до моделі цільової функції максимізації ДВ);
- 3) аналіз різних можливих сценаріїв шляхом підстановки в розрахунки значень вихідних факторів, відповідних тим або іншим сценаріям;
- 4) можливість використання за відсутності детальної статистики з упровадження смарт-технологій і неможливості об'єктивно розподілити фактори виробництва на «сма́рт» і «не сма́рт».

Недоліки полягають у такому:

- 1) через відсутність статистики, яка дозволяла б розділити традиційні фактори виробництва на «сма́рт» і «не сма́рт», при моделюванні довелося піти обхідним шляхом і використати альтернативний показник — вартість ПЗ, БД і НДДКР;
- 2) модель не дозволяє безпосередньо рекомендувати ті чи інші промислові технології або способи фінансово-економічного стимулювання їх упровадження (хоча дає змогу оцінити їх усереднений вплив за інших рівних умов).

На практиці модель може використовуватися:

- для загального аналізу тенденцій динаміки доданої вартості при тих чи інших змінах вхідних параметрів із часом;
- як оптимізаційний інструмент для вибору оптимальних проектів (програм, політик) при обмежених ресурсах, тобто для вибору серед усіх можливих проектів тих, які нададуть максимальний приріст доданої вартості та наблизять структуру факторів виробництва до бажаної;
- як імітаційний інструмент для аналізу сценаріїв, наприклад, при реалізації тих чи інших програм, виділенні певного обсягу коштів, прийнятті певної політики стимулювання, впровадженні податкових стимулів тощо.

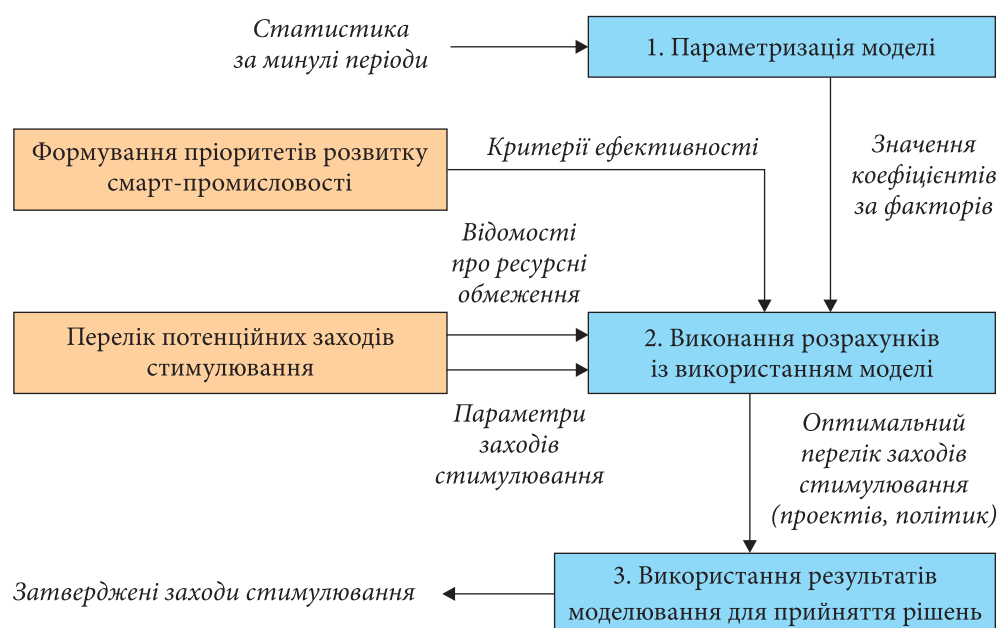


Рис. 2. Загальна схема використання моделі виробничої функції при виборі заходів стимулювання розвитку смарт-промисловості
Джерело: розроблено автором.

Таблиця 5. Порівняння структури інвестицій у переробній промисловості Німеччини та України в контексті розвитку смарт-промисловості

Рік	Німеччина, млн євро в поточних цінах			Україна, млн грн у поточних цінах		
	інвестиції в нематеріальні активи	інвестиції в машини та обладнання	співвідношення, %	інвестиції в нематеріальні активи	інвестиції в машини та обладнання	співвідношення, %
2010	41928	41830	100,23	—	—	—
2011	44804	48547	92,29	—	—	—
2012	48281	49254	98,02	8295	106932	7,76
2013	47380	48679	97,33	10463	94741	11,04
2014	51180	49592	103,20	7242	79157	9,15
2015	54619	51734	105,58	18211	98857	18,42
2016	59002	53863	109,54	11676	148267	7,88
2017	64664	55953	115,57	16178	204952	7,89
2018	69214	58746	117,82	36137	246714	14,65
2019	73280	60796	120,53	22789	249528	9,13
2020	68288	52038	131,23	24569	201209	12,21
2021	68673	54920	125,04	30670	267478	11,47
2022	68565	62027	110,54	20430	180498	11,32

Джерело: складено за (OECD, 2025с; Укрстат, 2023).

У контексті стимулювання впровадження смарт-технологій у промисловості запропонована модель може використовуватися для вибору напрямів стимулювання, які будуть приводити до найбільш ефективного розподілу інвестицій з урахуванням впливу на додану вартість з акцентом на фактор виробництва,

пов'язаний зі смарт-промисловістю. Загальну схему використання моделі для таких цілей наведено на рис. 2.

Моделювання здійснено на основі даних Німеччини, яка є одним із лідерів розвитку смарт-промисловості в ЄС і для якої доступні дані статистичної бази країн ОЕСР. Однак ви-

конати таке саме моделювання за даними України неможливо через відсутність статистики щодо вартості найбільш важливого в рамках досліджуваної теми фактора виробництва — вартості ПЗ і БД + НДДКР. Тим не менш висновки, одержані в результаті застосування цієї моделі, є актуальними, в тому числі для України та інших менш передових у питаннях розвитку смарт-промисловості (порівняно з Німеччиною) країн. Це пояснюється тим, що всі країни проходять приблизно один і той самий шлях у процесі впровадження смарт-промисловості (хоча і в різних масштабах), проте з певним запізненням: оскільки менш розвинуті країни та країни з меншим масштабом економіки не можуть забезпечити себе смарт-технологіями, вони використовують ті самі технології, які раніше впровадили розвинуті країни, але пізніше, коли здешевлення технологій дозволить їм їх купити. Отже, висновки щодо співвідношень факторів виробництва в Німеччині через певний час будуть справедливими і для менш розвинутих країн, що дозволяє зорієнтувати заходи стимулювання в те русло, яке було б найбільш ефективним згідно з розрахунками, одержаними для Німеччини (або інших передових країн).

У цьому контексті можна порівняти структуру інвестицій у ключові фактори виробництва в переробній промисловості України та Німеччини (статистика Укрстату дозволяє це зробити завдяки наявності даних за сумами інвестицій, хоча немає даних за поточною вартістю факторів) й оцінити їх відповідність критерію розвитку смарт-промисловості (збільшення частки нематеріальних активів у структурі основних фондів в умовах цифровізації).

У Німеччині спостерігається тенденція збільшення співвідношення між інвестиціями в інтелектуальну власність та інвестиціями в машини та обладнання, що свідчить про активне впровадження смарт-технологій (оскільки в переробній промисловості вартість інтелектуальної власності майже повністю складається з вартості ПЗ, БД і НДДКР). Україна відстає за даним показником приблизно в 10 разів, причому явної тенденції щодо збільшення з часом цієї частки не спостерігається. Якщо впровадження технологій смарт-промисловості і відбувається, то лише подекуди, а не повсюдно в галузі.

Висновки

1. Обґрунтовано доцільність використання моделі виробничої функції для оцінювання впливу інвестицій у смарт-технології на розвиток переробної промисловості. За основу взято мультиплікативну виробничу функцію (включаючи стандартні фактори капіталу у вигляді вартості машин і обладнання, праці як сумарної заробітної плати в галузі), модифіковану за рахунок додавання як окремого фактора вартості інтелектуальної власності (яка в переробній промисловості складається з вартості ПЗ, БД і НДДКР). Такий підхід відображає той факт, що в умовах становлення смарт-промисловості цифровізацію і НДДКР можна розглядати як окремий фактор виробництва, в тому числі в контексті стимулювання інвестицій у нього.

2. Для апробації моделі обрано переробну промисловість Німеччини, що пояснюється її лідерством у впровадженні смарт-промисловості серед країн ЄС, а також наявністю необхідних показників у статистичній базі даних ОЕСР. Встановлено, що країни, менш розвинуті в питаннях упровадження передових засобів виробництва (такі як Україна), повторюють шлях розвинутих (таких як Німеччина), але з деяким запізненням, тому висновки щодо більш розвинутих країн можна з певною затримкою екстраполювати на менш розвинуті.

3. У результаті параметризації моделі на прикладі переробної промисловості Німеччини доведено, що в сучасних умовах зростання смарт-фактора (вартості ПЗ, БД і НДДКР) дає більший приріст доданої вартості, ніж зростання фактора капіталу (вартості машин та обладнання). Цей висновок узгоджується із висловленими теоретичними припущеннями та вказує те, що стимулювання розвитку смарт-промисловості має бути спрямоване на збільшення інвестицій у проекти, що збільшують вартість машин і обладнання, а також ПЗ, БД і НДДКР, причому частка останніх здебільшого має бути вище частки капітальних вкладень (з урахуванням технічної можливості та економічної доцільності).

4. Запропонована модель в агрегованому вигляді не лише демонструє загальні тенденції перенесення вартості факторів на результати виробництва в умовах нового технологічного

укладу, але і може використовуватися безпосередньо для обґрунтування рішень щодо фінансового та фіскального стимулювання розвитку смарт-промисловості: у модель підставляються параметри впливу на інвестиції (і, відповідно, підсумкова вартість факторів виробництва) в результаті потенційної реалізації можливих інвестиційних проєктів, програм тощо і з урахуванням обмежених ресурсів вибираються ті з них, які нададуть максимальний приріст доданої вартості та пріоритетного для смарт-промисловості фактора (ПЗ, БД і НДДКР). Тобто на практиці модель може застосовуватися як оптимізаційний та імітаційний інструмент при обґрунтуванні рішень на державному рівні.

5. Можливості моделювання впливу факторів смарт-технологій на розвиток переробної промисловості України істотно обмежуються доступною статистикою. Рекомендовано, як мінімум, привести набори даних, що збираються Укрстатом, до рівня статистичної бази країн ОЕСР, додавши такі показники: «вартість інтелектуальної власності», «вартість машин та обладнання», «вартість ПЗ і БД», «вартість НДДКР», а як максимум — додати роздільний облік факторів за критеріями приналежності до смарт-технології, а саме додати для кожного фактора відсоток, на який загальний обсяг його вартісного вираження припадає на рівень

«смарт», наприклад, «відсоток машин і обладнання, що належать до смарт-технологій», «відсоток співробітників, які використовують у роботі смарт-технології», а також додаткові показники: «відсоток технологічних процесів, що здійснюються з використанням смарт-технологій», «відсоток продукції, що належить до смарт-технологій».

6. Порівняння структури інвестицій у фактори виробництва на прикладі переробної промисловості Німеччини та України свідчить, що в Німеччині інвестиції у ПЗ, БД і НДДКР вже більше 10 років перевищують інвестиції в машини та обладнання з тенденцією до подальшого зростання цього співвідношення, у той час як для України цей показник у 10 разів менше (у 2012—2022 рр. — в середньому 10,99 % проти більш ніж 112,22 % у Німеччині). Отже, поточна структура інвестицій у переробну промисловість не відповідає критеріям розвитку смарт-промисловості та потребує коригування шляхом стимулювання реалізації інвестиційних проєктів із структурою інвестицій, що включає більшу питому вагу факторів виробництва, властивих смарт-промисловості.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні конкретних заходів стимулювання та використанні запропонованої моделі для відбору найбільш ефективних із них.

ЛІТЕРАТУРА

- Капітальні інвестиції за видами економічної діяльності за 2010-2023 роки. *Укрстат*. 2023. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ibd/ibd_rik/ibd_u/ki_rik_u_e_bez.htm
- Охтеня О.О., Дасів А.Ф. Економіко-математичне моделювання довгострокового розвитку національної промисловості в умовах цифровізації з використанням виробничої функції. *Економіка промисловості*. 2021. № 4 (96). С. 5—20. <http://doi.org/10.15407/econindustry2021.04.005>
- Охтеня О.О., Дасів А.Ф. Потенціал використання систем моделювання при розробленні державних заходів щодо фінансово-економічного стимулювання розвитку смарт-промисловості. *Економіка промисловості*. 2023. № 4 (104). С. 65—85. <http://doi.org/10.15407/econindustry2023.04.065>
- Шубалий О.М., Косінський П.М., Петруха С.В. Фінансово-економічне стимулювання сталого розвитку переробних підприємств у воєнних та повоєнних умовах. *Фінанси України*. 2022. № 12. С. 74—86. <https://doi.org/10.33763/fnukr2022.12.074>
- Energy Innovation Policy & Technology LLC. *Energy Policy Simulator*. URL: <https://energypolicy.solutions/> (дата звернення: 15.01.2025).
- Global Economic Data & Forecasts. *Moody's Analytics*. 2025. URL: <https://www.economy.com/products/data> (дата звернення: 15.01.2025).
- Global Industry Model. *Oxford Economics*. 2025. URL: <https://www.oxfordeconomics.com/service/subscription-services/industries/global-industry-model> (дата звернення: 15.01.2025).
- Jain M., Sharma D., Kulshrestha R., Hota H. Applications of Mathematical Modeling, Machine Learning, and Intelligent Computing for Industrial Development (Smart Technologies for Engineers and Scientists). *CRC Press*. 2023. 424 p.
- OECD Data Explorer. Gross value added by economic activity. *OECD*. 2025a. URL: [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=9&tm=Value%20added%20and%20its%20components%20by%20activity&vw=tb&df\[ds\]=dsDissem](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=9&tm=Value%20added%20and%20its%20components%20by%20activity&vw=tb&df[ds]=dsDissem)

- inateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE6&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...B1G..C...LR%2BDR%2BV..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false] (дата звернення: 15.01.2025).
- OECD Data Explorer. Annual fixed assets by economic activity and by asset. *OECD*. 2025b. URL: [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=18&tm=Software%20and%20databases&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE9A&df\[ag\]=OECD.SDD.NAD&df\[vs\]=1.0&dq=A.DEU...N1171N%2BN1173N%2BN117N%2BN1132N%2BN11MN%2BN11G.C...XDC.L..&pd=2010%2C&to\[TIME_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=18&tm=Software%20and%20databases&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE9A&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...N1171N%2BN1173N%2BN117N%2BN1132N%2BN11MN%2BN11G.C...XDC.L..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false) (дата звернення: 15.01.2025).
- OECD Data Explorer. Annual capital formation by economic activity. *OECD*. 2025c. URL: [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=197&tm=investments%20by%20activity&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE8&df\[ag\]=OECD.SDD.NAD&df\[vs\]=1.0&dq=A.DEU...P51G.N117G%2BN11MG%2BN11G.C...V..&pd=2010%2C&to\[TIME_PERIOD\]=false&ly\[cl\]=TIME_PERIOD&ly\[rw\]=COMBINED_TRANSACTION%2CCOMBINED_UNIT_MEASURE](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=197&tm=investments%20by%20activity&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE8&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...P51G.N117G%2BN11MG%2BN11G.C...V..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false&ly[cl]=TIME_PERIOD&ly[rw]=COMBINED_TRANSACTION%2CCOMBINED_UNIT_MEASURE) (дата звернення: 15.01.2025).
- Vovk O., Tulchynska S., Popelo O., Tulchinskiy R., Tkachenko T. Economic and mathematical modeling of the integration impact of modernization on increasing the enterprise competitiveness. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 2021. Vol. 43. No. 3. P. 383—389. <https://doi.org/10.15544/mts.2021.35>
- Yagafarova A., Stolwijk C., Otto D. Digitalization of the manufacturing sector in the Netherlands. Smart Industry impact: looking back and forward. *TNO: Innovation for Life*. 2024. URL: https://www.tno.nl/publish/pages/10643/tno_whitepaper_smart_industry_impact.pdf

Надійшла до редакції 17.01.2025 р.

REFERENCES

- Ukrstat (2023). Capital investments by type of economic activity for 2010-2023. https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ibd/ibd_rik/ibd_u/ki_rik_u_e_bez.htm
- Okhten, O.O., & Dasiv, A.F. (2023). The potential of using simulation systems in the development of state measures for the financial and economic stimulation of the development of smart industry. *Econ. promisl.*, 4 (104), 65—85. <https://doi.org/10.15407/econindustry2023.04.065> [in Ukrainian].
- Okhten, O.O., & Dasiv, A.F. (2021). Economic and mathematical modeling of long-term development of national industry in the conditions of digitalization with the use of a production function. *Econ. promisl.*, 4 (96), 5—20. <https://doi.org/10.15407/econindustry2021.04.005> [in Ukrainian].
- Shubalyi, O., Shubalyi, O., Petrukha, S., & Kosynskyi, P. (2022) Financial and economic stimulation of the sustainable development of processing enterprises in wartime and postwar conditions. *Finansi Ukr.* 12, 74—86. <https://doi.org/10.33763/finukr2022.12.074> [in Ukrainian].
- Energy Policy Simulator (2025). Energy Innovation Policy & Technology LLC. <https://energypolicy.solutions/>
- Moody's Analytics (2025). Global Economic Data & Forecasts. <https://www.economy.com/products/data>
- Oxford Economics (2025). Global Industry Model. <https://www.oxfordeconomics.com/service/subscription-services/industries/global-industry-model>
- Jain, M., Sharma, D., Kulshrestha, R., & Hota, H. (2023). Applications of Mathematical Modeling, Machine Learning, and Intelligent Computing for Industrial Development (Smart Technologies for Engineers and Scientists). *CRC Press*.
- OECD (2025a). Gross value added by economic activity. [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=9&tm=Value%20added%20and%20its%20components%20by%20activity&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE6&df\[ag\]=OECD.SDD.NAD&df\[vs\]=1.0&dq=A.DEU...B1G..C...LR%2BDR%2BV..&pd=2010%2C&to\[TIME_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=9&tm=Value%20added%20and%20its%20components%20by%20activity&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE6&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...B1G..C...LR%2BDR%2BV..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false)
- OECD (2025b). Annual fixed assets by economic activity and by asset. OECD Data Explorer. [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=18&tm=Software%20and%20databases&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE9A&df\[ag\]=OECD.SDD.NAD&df\[vs\]=1.0&dq=A.DEU...N1171N%2BN1173N%2BN117N%2BN1132N%2BN11MN%2BN11G.C...XDC.L..&pd=2010%2C&to\[TIME_PERIOD\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=18&tm=Software%20and%20databases&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE9A&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...N1171N%2BN1173N%2BN117N%2BN1132N%2BN11MN%2BN11G.C...XDC.L..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false)
- OECD (2025c). Annual capital formation by economic activity. OECD Data Explorer. [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=197&tm=investments%20by%20activity&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE8&df\[ag\]=OECD.SDD.NAD&df\[vs\]=1.0&dq=A.DEU...P51G.N117G%2BN11MG%2BN11G.C...V..&pd=2010%2C&to\[TIME_PERIOD\]=false&ly\[cl\]=TIME_PERIOD&ly\[rw\]=COMBINED_TRANSACTION%2CCOMBINED_UNIT_MEASURE](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=197&tm=investments%20by%20activity&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE8&df[ag]=OECD.SDD.NAD&df[vs]=1.0&dq=A.DEU...P51G.N117G%2BN11MG%2BN11G.C...V..&pd=2010%2C&to[TIME_PERIOD]=false&ly[cl]=TIME_PERIOD&ly[rw]=COMBINED_TRANSACTION%2CCOMBINED_UNIT_MEASURE)
- Vovk, O., Tulchynska, S., Popelo, O., Tulchinskiy, R., & Tkachenko, T. (2021). Economic and mathematical modeling of the integration impact of modernization on increasing the enterprise competitiveness. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 43(3), 383—389. <https://doi.org/10.15544/mts.2021.35>
- Yagafarova, A., Stolwijk, C., & Otto, D. (2024). Digitalization of the manufacturing sector in the Netherlands. Smart Industry impact: looking back and forward. *TNO: Innovation for Life*. https://www.tno.nl/publish/pages/10643/tno_whitepaper_smart_industry_impact.pdf

Received at the editorial office 17.01.2025

Oleksiy O. Okhten¹, PhD in Economics, Senior Researcher
E-mail: aokhten@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>

¹ Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine

² Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

MODELING THE IMPACT OF INVESTMENTS
IN SMART TECHNOLOGY ON THE DEVELOPMENT
OF THE MANUFACTURING INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF GERMANY

One of the main trends observed in the manufacturing sector at the current stage of economic development is the introduction of smart technologies, i.e. innovative solutions that integrate sensors, automation, artificial intelligence and the Internet of Things, to increase the efficiency, accuracy and flexibility of production processes. Leading countries in this area, in particular the USA, China and EU countries, are implementing various measures to stimulate the development of smart industry, including budgetary and fiscal one, with a total cost of tens of billions of dollars per year, however, less economically developed countries need to choose the most effective directions of resource allocation, which requires assessing the impact of investments on the performance of the manufacturing sector. The article is devoted to the analysis of the impact of investments in smart technologies on the development of the manufacturing industry using the example of Germany, which is the largest economy in the Eurozone and one of the leaders in the development of smart industry. For this purpose, a production function model was built that takes into account not only traditional production factors, such as labor and capital, but also the factor of digitalization. The model is based on a multiplicative production function (which includes standard factors such as capital in the form of the cost of machinery and equipment, as well as labor in the form of total wages in the industry), modified by adding the cost of intellectual property as a separate factor (which in the processing industry consists of the cost of software, databases and scientific and technical research). Modeling on the example of Germany showed that the growth of this smart factor gives a greater increase in added value than the growth of the capital factor, which indicates that stimulating the development of smart industry should be carried out in the form of directing investments into projects of a specific profile: which increase the cost of machinery and equipment, as well as the digitalization factor. Moreover, with the account technical feasibility and economic feasibility, the share of investments in the digitalization factor should be higher than the share of capital investments. A comparison of the structure of investments in production factors in Ukraine and Germany was carried out, which showed that the current structure of investments in the manufacturing industry in Ukraine does not meet the criteria for the development of smart industry due to Ukraine's more than 10-fold lag in terms of the ratio of investments in the digitalization factor to investments in machinery and equipment. Recommendations were also provided to improve the structure of statistical information by including additional indicators that take into account the features of smart industry.

Keywords: smart industry, manufacturing industry, investments, digitalization, intangible resources, modeling, production function.