

Алла Федоровна Дасив,*канд. экон. наук*e-mail: alladasiv@gmail.com<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>;**Артём Анатольевич Мадых,***канд. экон. наук*e-mail: artem.madykh@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-2197-7860>;**Алексей Александрович Охень,***канд. экон. наук, с.н.с.*

Институт экономики промышленности НАН Украины

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

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СМАРТ-ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ

Разработан подход к оценке соответствия промышленного производства отдельных предприятий в частности и экономики в целом критериям смарт-индустриализации, а также выполнена оценка с использованием этого подхода степени смартизации экономик различных развитых стран и Украины. В настоящее время не существует подходов, позволяющих достаточно объективно оценить уровень смарт-индустриализации экономики страны в целом или отдельных предприятий. Поскольку внедрение смарт-технологий (большие данные, Интернет вещей, умные датчики и т.п.) сопровождается ростом инвестиций в компьютерное программное обеспечение и базы данных (КПО и БД), в основу такого критерия оценки уровня смартизации может быть положен показатель инвестиций в КПО и БД или же стоимость используемых КПО и БД в производстве, который будет прямо коррелировать со сложностью решаемых кибернетическими системами задач. Показана целесообразность использования соотношения стоимости КПО и БД со стоимостью машин и оборудования («смартизация» капитала) и соотношения стоимости КПО и БД с добавленной стоимостью («смартёмкость» производства). Эти соотношения составляют основу искомого обобщенного показателя соответствия промышленных предприятий критериям смарт-индустриализации. Полученный показатель обладает рядом достоинств: он прост в вычислении, полученные оценки устойчивы и надежны, не требователен к сопоставимости исходных данных, может рассматриваться в динамике, инвариантен к масштабу производства и может рассчитываться как для отдельных предприятий, так и для отрасли или экономики в целом.

Показатель апробирован на данных Австралии, Германии, Чехии и Украины, при этом моделирование для Украины осложнено тем, что официальная статистика по стоимости КПО и БД для перерабатывающей промышленности отсутствует. Анализ результатов моделирования позволил сделать вывод о том, что Украина осталась в стороне от развернувшейся в развитых странах смарт-индустриализации: инвестиции в машины и оборудование не сопровождаются инвестициями в создание программной среды смарт-промышленности. Разработанные показатели могут использоваться при обосновании управленческих решений как на микро-, так и на макроуровне, в частности, для определения направлений инвестирования, проведения сравнения с ведущими экономиками и компаниями, а также для оценки эффективности государственной политики в области смарт-индустриализации.

Ключевые слова: оценка, смарт-индустриализация, перерабатывающая промышленность, смарт-предприятия, экономико-математическое моделирование.

JEL: C130, L600, L860, O300, O400

© А. Ф. Дасив, А. А. Мадых, А. А. Охень, 2019

Экономическое обоснование эффективности смарт-индустриализации, ее влияние на экономику страны и социально-экономические процессы, оценка уровня смартизации экономик, отраслей, предприятий, оценка эффективности первоочередного внедрения смарт-предприятий в тех или иных отраслях являются важными вопросами с точки зрения экономико-математического моделирования на этапе перехода к новой смарт-системе производства и трансформации производственных отношений.

Публикации, посвященные моделированию смарт-промышленности, оценке ее внедрения и влияния на экономику [1; 9; 15], носят незавершенный характер. Это является следствием того, что данное научное направление еще очень молодо, устоявшиеся концепции смарт-индустриализации и ее моделирования отсутствуют, а существующие примеры основываются больше на эвристических методах, чем на точных математических обоснованиях.

Промышленная революция 4.0, которая открывает принципиально новые возможности организации производства с использованием киберфизических систем, больших данных, искусственного интеллекта, тотальной автоматизации, приводит к необходимости пересмотра влияния традиционных факторов производства на добавленную стоимость. Производство требует все меньшего количества человеческого труда, который замещается киберфизическими системами, при этом в основном капитале существенно возрастает доля нематериального капитала, связанного с владением информацией и технологиями ее обработки. Данный вид капитала настолько отличается от традиционного по динамике своего изменения и влияния на производство, что представляется целесообразным рассмотреть его в качестве отдельного фактора производства, значение которого в информационную эпоху будет только возрастать [16].

В работах [4; 5] обосновано, что на добавленную стоимость (ДС) в перераба-

тывающей промышленности (ПП) на современном этапе развития производства, помимо традиционных факторов производства, значительное влияние оказывает информационный фактор, или фактор «смартизации» производства. В качестве традиционных факторов производства обосновано использование количества отработанных часов в ПП (в качестве фактора «труд») и стоимости машин и оборудования в сопоставимых ценах (в качестве фактора «капитал»). Также доказано, что наилучшей оценкой информационного фактора является стоимость компьютерного программного обеспечения и баз данных в ПП в сопоставимых ценах (КПО и БД).

Таким образом, теоретически, исследуя уровень использования данного информационного фактора в экономике различных стран или в различных производствах, можно оценить степень соответствия этих экономик (производств) критериям смарт-индустриализации, или по-простому, степень их «смартизации».

Целью статьи является обоснование и разработка методики оценки соответствия промышленного производства и отдельных предприятий в частности критериям смарт-индустриализации, а также оценка по этой методике уровня смартизации экономик различных стран, включая Украину.

Рассмотрим промышленное производство трёх развитых стран: Германии, Чехии и Австралии. Германия – как эталон процессов информационного развития в Европе [10, 14]; Чехия – как образец развитой страны с особым, социалистическим, прошлым; Австралия – как представитель развитой экономики, в значительной степени обособленной от европейской. Кроме того, выбор именно этих государств связан с наличием необходимой статистики по стоимости КПО и БД, которая представлена по довольно ограниченному количеству стран. Различия в развитии этих экономик продемонстрированы на рис. 1, где представлена динамика произведенной добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности в сопоставимых ценах.

Реальное промышленное производство Германии с 2000 по 2017 г. выросло на 38% (в 1,38 раза), Чехии – на 150% (в 2,5 раза), Австралии – на 1,6% (если рассматривать с 2003 г., то упало на 6%; а с 2007 по 2016 г. падение составило 13%). Таким образом, имеют место три разных экономики: Германия демонстрирует умеренный рост ПП; Чехия показывает очень интенсивный рост практически с таким же характером колебаний, что и у Германии; в Австралии наблюдается стагнация, а в последние десять лет – существенное падение ПП.

При этом очевидно, что развитие информационных технологий за 18 последних лет должно было оказать заметное воздействие на экономики этих стран. Рассмотрим, каким образом можно оценить это влияние.

На рис. 2 представлена динамика информационного фактора производства –

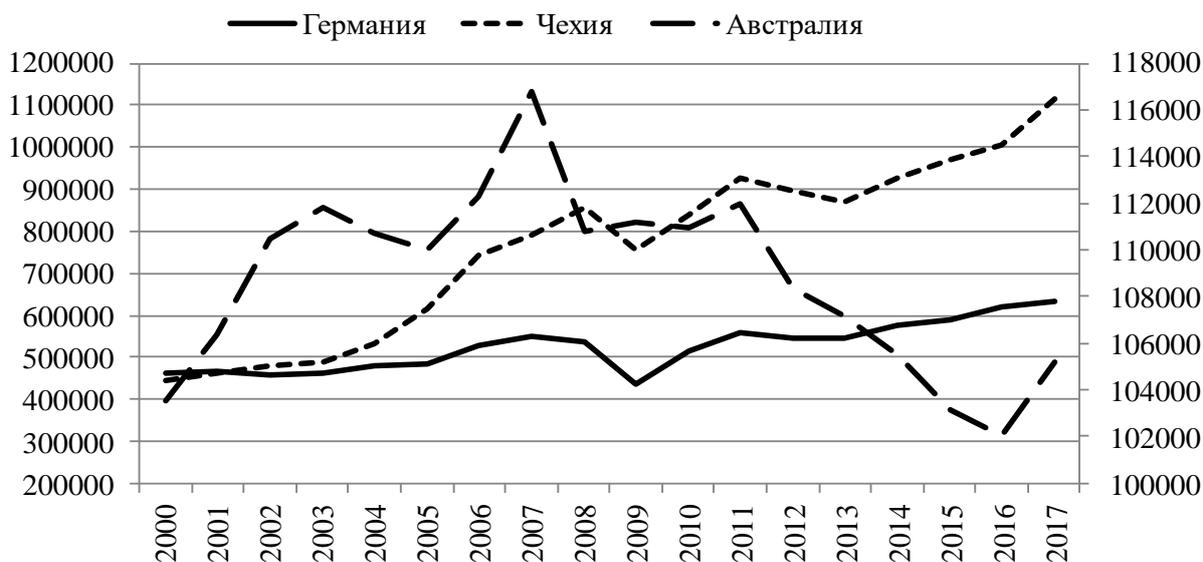
стоимости КПО и БД в сопоставимых ценах. Стоимость КПО и БД в Германии и Австралии устойчиво растёт из года в год: для Германии увеличение составило 110% (в 2,1 раза), для Австралии – 168% (в 2,68 раза). В Чехии же при общем росте в 146% рост не был всегда устойчивым и наблюдался в 2003-2009 и 2013-2017 гг., в остальные периоды имело место снижение этого показателя.

Для оценки влияния информационного фактора на ПП данных стран построим производственные функции $\tilde{Y} = a_0 \cdot L^{a_1} K^{a_2} J^{a_3}$, включающие данный фактор производства наряду с традиционными, по методике, обоснованной в работе [4].

$$\tilde{Y}_{Герм.} = 0,816 \cdot L^{0,799} K^{0,507} J^{0,502},$$

$$\tilde{Y}_{Чехия} = 0,187 \cdot L^{0,766} K J^{0,216},$$

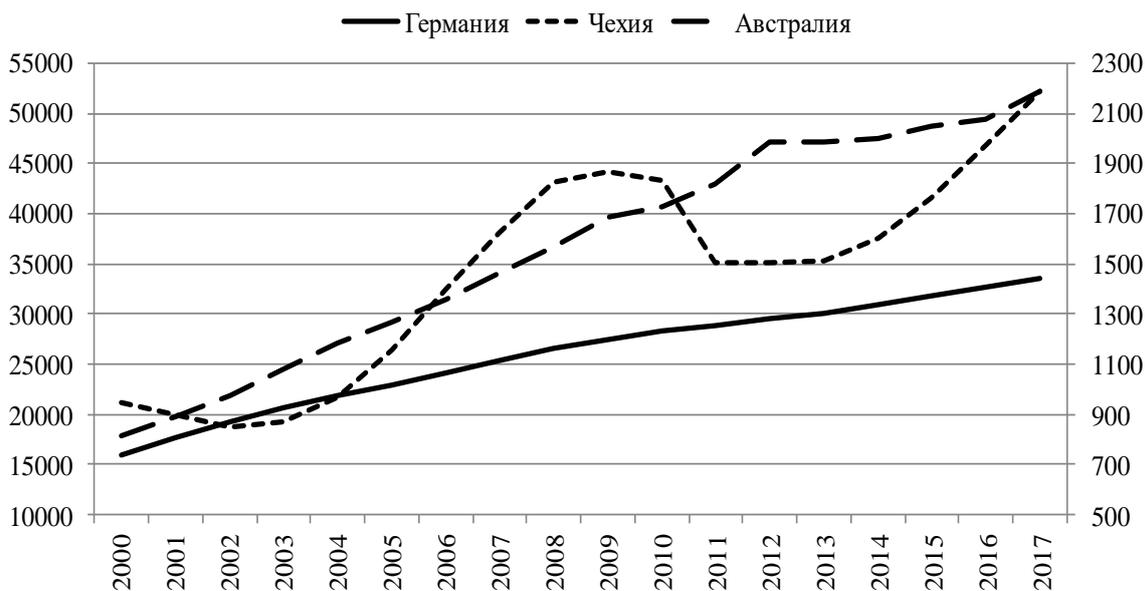
$$\tilde{Y}_{Австрал.} = 20,89 \cdot L^{0,535} K^{0,29} J^{0,099}.$$



Составлено по источнику [18].

Рисунок 1 – Сравнение динамики произведенной ДС в ПП в сопоставимых ценах¹

¹ На рис. 1, 2 Германия представлена по левой оси в млн. евро, Чехия по левой оси в млн. крон, Австралия по правой оси в млн. австралийских долларов. Поэтому представленные графики не сравнимы друг с другом по абсолютной величине, а лишь отражают динамику показателя во времени.



Составлено по источнику [12].

Рисунок 2 – Сравнение динамики КПО и БД в ИП в сопоставимых ценах

Модели производственных функций для Чехии и Австралии нельзя считать надежными. Для Чехии факторы капитала и стоимости КПО и БД сильно коррелированы ($r = 0,92$), а капитал имеет очень тесную связь с добавленной стоимостью ($r > 0,97$), что делает невозможным достоверное установление параметров модели статистическими методами в силу мультиколлинеарности [8]. Для Австралии сильно коррелированными оказались факторы труда и стоимости КПО и БД ($r < -0,93$).

Несмотря на полную ненадежность параметров a_0 , a_1 , a_2 , оценка параметра a_3 , определяющая вклад информационного фактора, оказалась вполне устойчивой к различным модификациям модели и начальным значениям при поиске оптимальных параметров по методу обобщенного приведенного градиента. Соответственно, для этих стран данная оценка может быть использована для суждения о степени смартизации их промышленного производства. По ней получается, что Австралия является аутсайдером по уровню смартизации, а Германия – лидером.

Тем не менее, трудности, с которыми можно столкнуться при использовании такой методики оценки уровня смартизации, связанные с мультиколлинеарностью факторов и ненадежностью статистических оценок параметров производственных функций, не позволяют говорить о ее универсальности и достоверности полученных по ней результатов. Если учесть, что a_3 может оказаться статистически ненадежной, неустойчивой и при разных модификациях модели отличаться в разы, то, очевидно, что такой критерий соответствия промышленного производства критериям смарт-индустриализации никак нельзя считать удовлетворительным. Помимо этого, существуют еще причины невозможности использования данного подхода, а именно:

1. Экономическая интерпретация коэффициентов a_3 такова, что по их значениям трудно судить о возможности количественного сравнения разных экономик. Если a_3 для Германии больше, чем для Чехии в 2,5 раза, а для Австралии – в 5 раз, то значит ли это, что степень смартизации экономики в Германии в 2,5 раза выше,

чем в Чехии, и в 5 раз выше, чем в Австралии (а соответственно в Чехии в 2 раза больше, чем в Австралии)?

2. Проблематично и практически невозможно отследить динамику процесса смартизации и сравнить, насколько изменился уровень смартизации конкретной экономики за последний год, два, пять.

3. Модели типа Кобба-Дугласа являются макроэкономическими [11; 13; 17] и, следовательно, не подходят для исследования и сравнения отдельных производств и предприятий.

В качестве другого подхода к оценке соответствия промышленных предприятий критериям смарт-индустриализации можно предложить отношение ($k_{J/K}$) стоимости (J) КПО и БД к стоимости (K) машин и оборудования (в сопоставимых ценах), которое вполне адекватно отражает использование информационных технологий в производстве. Такой подход имеет ряд преимуществ, которые заключаются в следующем:

если учесть, что стоимость КПО и БД коррелирует со сложностью и разнообразием решаемых задач, то данный показатель в динамике отражает рост сложности

выполняемых задач на единицу используемого оборудования, в частности, интеллектуализацию используемых машин;

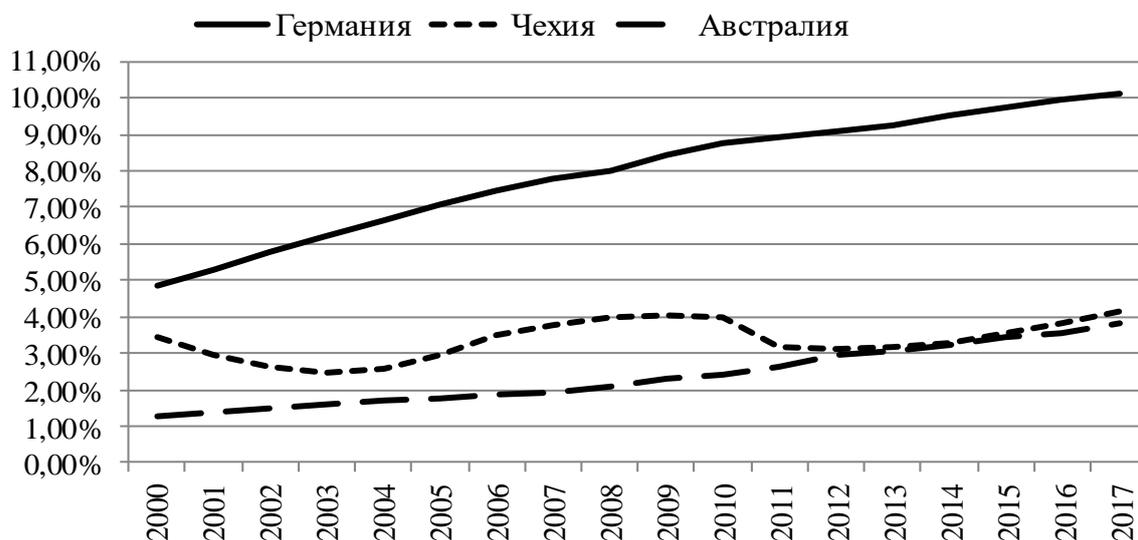
при этом устраняются все проблемы, обозначенные выше, для подхода с применением производственных функций – такой показатель является сравнимым для различных экономик и производств, сравнимым в динамике, его можно использовать на микроуровне для оценки смартизации отдельных предприятий;

такой показатель гораздо надежнее и достовернее;

если допустить, что уровень роста цен (ввиду инфляционных процессов) на машины и оборудование приблизительно совпадает с ростом цен на КПО и БД, то для вычисления $k_{J/K}$ можно использовать факторы в текущих ценах, а необязательно сопоставимых;

такой показатель чрезвычайно прост в вычислении и не требует громоздких расчётов.

Динамика данного показателя для промышленных производств Германии, Чехии и Австралии представлена на рис. 3.



Составлено по источнику [12].

Рисунок 3 – Динамика отношения стоимости КПО и БД к стоимости машин и оборудования (в сопоставимых ценах)

Таким образом, в 2017 г. величина k_{JK} практически сравнялась у Чехии и Австралии (при том, что Австралия в 2000 г. отставала от Чехии почти в 3 раза, но к 2012 г. сократила это отставание до минимума). Германия же в 2,5 раза опережает Чехию и Австралию. Следует заметить, что данные результаты очень схожи с результатами, полученными с использованием производственных функций, однако они гораздо надежнее, информативнее и проще в получении, что подтверждает целесообразность использования данного подхода к оценке уровня смартизации производства.

Недостатком такого подхода к оценке уровня смартизации экономики и отдельных предприятий (возможно не единственным, но наиболее заметным) является тот факт, что этот показатель никак не характеризует производительность экономики, в частности ее капиталоемкость и капиталотдачу. Он отражает *уровень смартизации капитала (или «смартвооруженности»¹ капитала)*, но не производства/экономики. Если в экономике (не важно, микро- или макроуровня) влияние фактора производства «машины и оборудование» на добавленную стоимость минимально и преимущественно используется ручной труд, то какие бы ни были высокие показатели k_{JK} , говорить о современной смарт-экономике в таком случае сложно. Так, по приблизительно одинаковой доле k_{JK} в Чехии и Австралии никак нельзя сказать, что экономика Чехии по показателю капиталотдачи оказывается в два раза менее производительной.

Связь показателя k_{JK} с капиталотдачей проиллюстрирована на рис. 4. Капиталотдачу оценим отношением добавленной стоимости (Y) к стоимости машин и оборудования (K).

Имеет место прямая зависимость роста капиталотдачи от роста уровня смарт-

тизации капитала перерабатывающей промышленности. Количественно эту связь можно оценить коэффициентом корреляции, который для Германии составляет 0,85 (тесная связь), для Чехии – 0,66 и для Австралии – 0,52 (умеренная связь). Следует заметить, что невысокие коэффициенты корреляции для Австралии связаны с кризисной ситуацией в отрасли (см. рис. 1), поэтому для большей наглядности векторами на рис. 4 обозначено направление тенденции в этих странах в посткризисный для них период. В данном случае для всех стран имеет место очень тесная связь (см. коэффициенты детерминации на графике).

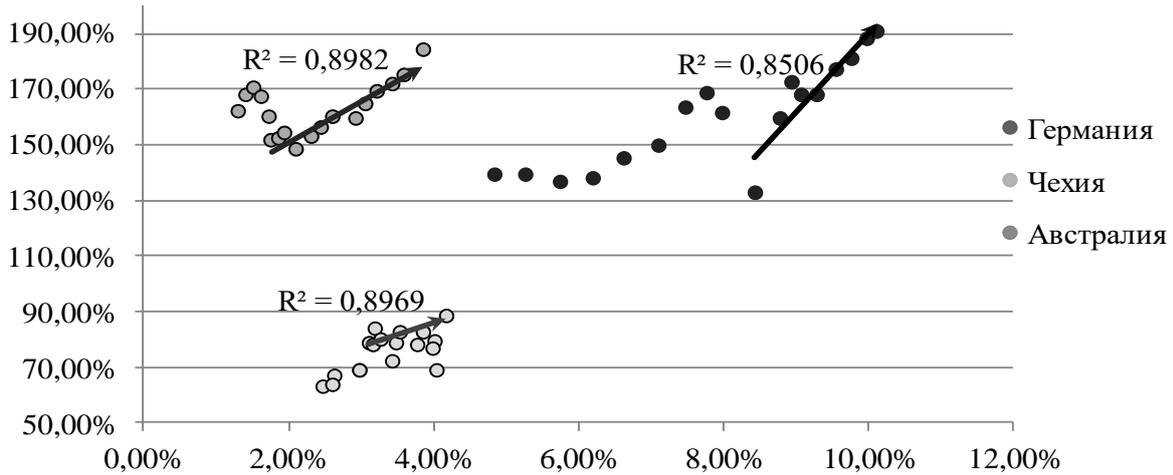
Таким образом, чтобы обойти проблему связи показателя смартизации капитала k_{JK} с уровнем смартизации производства/экономики, следует учитывать влияние самого фактора капитала на добавленную стоимость, то есть капиталоемкость. В тех производствах, где капиталоемкость высокая, уровень смартизации капитала k_{JK} в той или иной степени будет отражать и смартизацию производства. Там же, где капиталоемкость невысока, каких-либо однозначных выводов по величине k_{JK} сделать нельзя. Показатель k_{JK} , взвешенный на капиталоемкость производства (рис. 5), по сути представляет долю затрат на КПО и БД в добавленной стоимости (k_{JY}) или «смартёмкость»²:

$$k_{JY} = k_{JK} \cdot K/Y = J/K \cdot K/Y = J/Y.$$

Чехия, имеющая более капиталоемкое производство, уже не так значительно отстаёт от Германии (см. рис. 3) по влиянию затрат на КПО и БД на добавленную стоимость и в докризисные годы даже догоняла Германию. А вот влияние смартизации на экономику Австралии явно ниже рассматриваемых европейских стран.

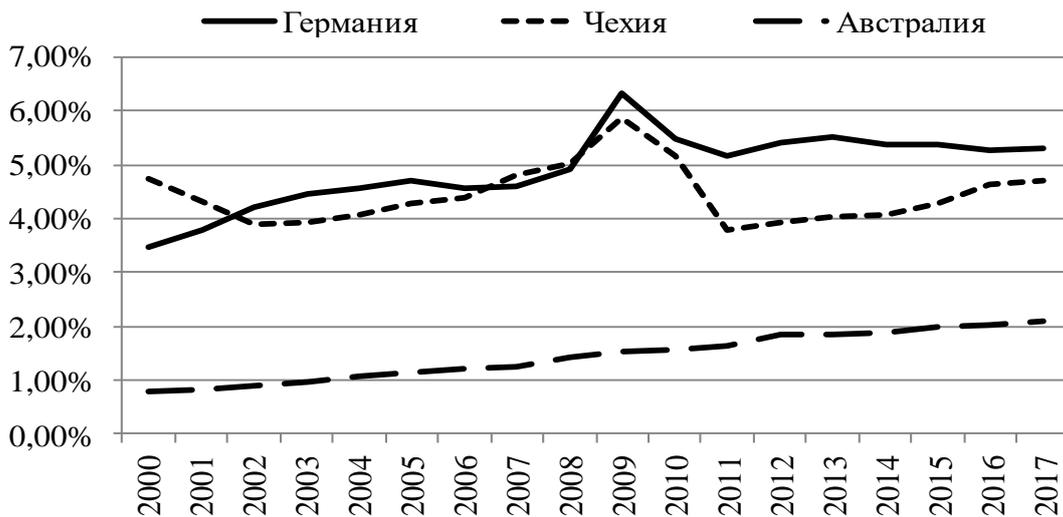
¹ Под смартвооруженностью в данной статье понимается отношение стоимости КПО и БД к стоимости машин и оборудования.

² Под смартёмкостью понимается отношение стоимости КПО и БД к добавленной стоимости.



Составлено по источникам [12; 18].

Рисунок 4 – Связь капиталотдачи в перерабатывающей промышленности (ось Y) с уровнем смартизации капитала (ось X) за период 2000-2017 гг.



Составлено по источникам [12; 18].

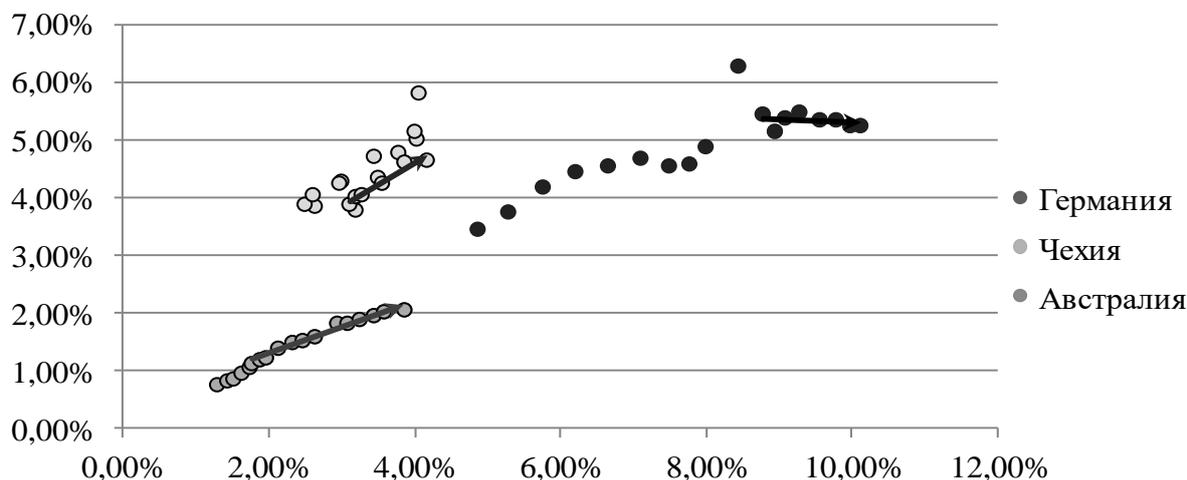
Рисунок 5 – Динамика доли затрат на КПО и БД в добавленной стоимости перерабатывающей промышленности 2000-2017 гг.

Однако «смартёмкость» производства k_{JY} тоже нельзя изолированно использовать для оценки соответствия предприятий критериям смарт-индустриализации, поскольку множитель капиталоемкости, увеличивающий этот показатель, может также свидетельствовать о неэффективности производства (в этом случае показатель

уровня смартизации капитала k_{JK} будет более информативным). Для устранения данных противоречий можно отказаться от идеи выведения единого показателя уровня смартизации, а пользоваться одновременно обоими, отражая положение производства точкой на плоскости (рис. 6). Как и на рис. 4, здесь векторами показано направление

развития тенденции в посткризисные для данной страны годы. Здесь обращает на себя внимание тот факт, что в Германии при продолжающемся последние 8 лет увеличении уровня смартизации капитала увеличение «смартёмкости» производства не наблюдается. Это означает, что рост смартизации машин и оборудования со-

провождается эквивалентным снижением капиталоемкости производства. В Чехии же и Австралии эти процессы еще не вышли в равновесную стадию и смартизация капитала сопровождается также увеличением «смартёмкости» производства, что наблюдалось и в Германии в докризисные годы.



Составлено по источникам [12; 18].

Рисунок 6 – Связь «смартёмкости» перерабатывающей промышленности (ось Y) с уровнем смартизации капитала (ось X) за период 2000-2017 гг.

Разработка единого показателя соответствия предприятий критериям смартиндустриализации (обозначим его k_J) на основании интеграции обоих показателей $k_{J/Y}$ и $k_{J/K}$ может быть реализована, если искать функциональную зависимость в виде билинейной формы (линейной относительно каждой переменной):

$$k_J = a_1 k_{J/K} + a_2 k_{J/Y} + a_3 k_{J/K} \cdot k_{J/Y}. \quad (1)$$

Поскольку значения переменных по смыслу ограничены снизу и сверху значениями 0 и 1, рассмотрим, какое значение должна принимать данная функция в этих крайних точках, на основании чего можно получить систему уравнений, позволяющую найти функцию (1) в явном виде. Такими крайними значениями k_J в точках $(k_{J/K}; k_{J/Y})$ будут:

1) (0; 0) – означает ситуацию, только когда затраты на КПО и БД равны нулю, следовательно, нулю должен быть равен и

уровень смартизации производства. Таким образом, $k_J(0; 0) = 0$ – по уравнению (1) имеем тождество;

2) ситуация (0; 1) невозможна, поскольку означает, что доля затрат на КПО и БД в капитале равна нулю, а в добавленной стоимости – единице. Тем не менее, если предположить, что капиталоемкость можно увеличивать до бесконечности и рассматривать предел $\lim_{\substack{k_{J/Y} \rightarrow 1 \\ k_{J/K} \rightarrow 0}} k_J(k_{J/K}; k_{J/Y})$,

то при $k_{J/K} \rightarrow 0$ уровень смартизации k_J должен стремиться к нулю при любых значениях $k_{J/Y}$. Таким образом, $k_J(0; 1) = 0$, значит, из (1) следует, что $a_2 = 0$;

3) ситуация (1; 1) означает, что доля затрат на КПО и БД в капитале и добавленной стоимости равна единице (единице равна и капиталоемкость). Такая ситуация тоже в чистом виде невозмож-

на, но если рассматривать предел $\lim_{\substack{k_{J/Y} \rightarrow 1 \\ k_{J/K} \rightarrow 1}} k_J(k_{J/K}; k_{J/Y})$, то очевидно, уровень смартизации k_J должен увеличиваться с ростом $k_{J/K} \rightarrow 1$ и уж точно не уменьшаться с ростом $k_{J/Y}$, а значит, при максимальных их значениях уровень смартизации производства будет равен единице. То есть $k_J(1; 1) = 1$, значит, из (1), учитывая что $a_2 = 0$, следует, что $a_1 + a_3 = 1$;

4) ситуация (1; 0) означает, как указано выше, что затраты КПО и БД составляют 100% капитала, при этом капитал равен нулю (или не используется в создании ДС). Опять же в явном виде ситуация невозможна, однако рассмотрим гипотетическое поведение функции при приближении к предельным значениям одного из аргументов, когда другой фиксирован. При $k_{J/K} = 1$, $k_J = 1$ в любой точке, пока

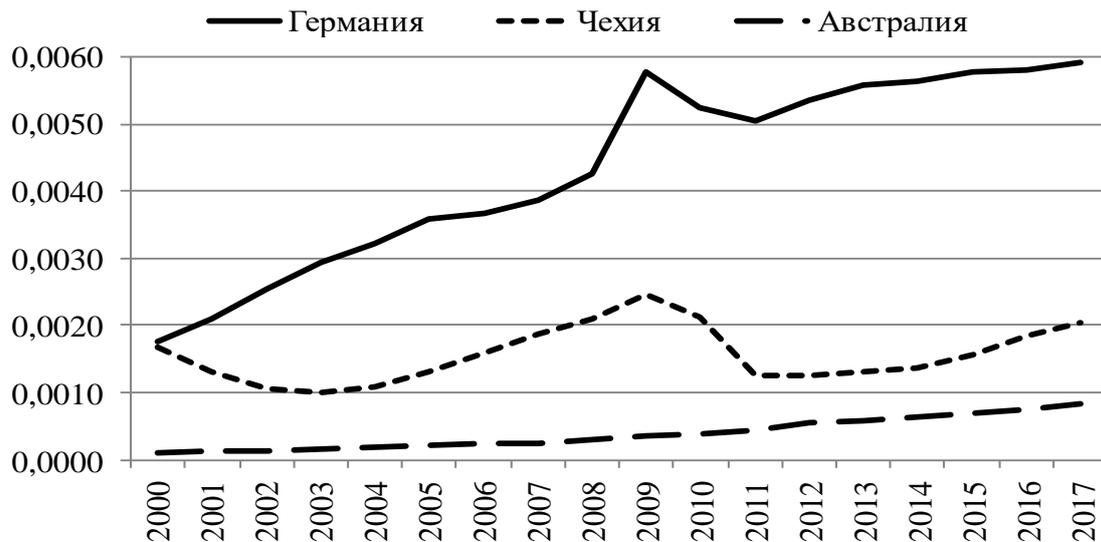
$k_{J/Y}$ остается больше нуля (при любой сколь угодно малой капиталоемкости): $k_J(1; k_{J/Y})|_{k_{J/Y} > 0} = 1$. С другой стороны, если капитал не используется в производстве ($k_{J/Y} = 0$), какой бы ни была высокой его «смартизация», о «смартизации» производства речи вести нельзя, то есть $k_J(k_{J/K}; 0)|_{\forall k_{J/K}} = 0$. Таким образом, в точке (1; 0) происходит бифуркация и выводы о смартизации производства сделать нельзя, а значит, из (1) имеем соотношение $a_1 = k_J$.

Подставим все полученные отношения в (1) и получим

$$k_J = k_J \cdot k_{J/K} + (1 - k_J) k_{J/K} \cdot k_{J/Y} \Rightarrow$$

$$k_J = \frac{k_{J/K} \cdot k_{J/Y}}{1 + k_{J/K} \cdot k_{J/Y} - k_{J/K}} = \frac{k_{J/K} \cdot k_{J/Y}}{1 + k_{J/K} (k_{J/Y} - 1)}. \quad (2)$$

Динамика данного показателя представлена на рис. 7.



Составлено по источникам [12; 18].

Рисунок 7 – Динамика интегрального показателя смартизации производства в перерабатывающей промышленности за 2000-2017 гг.

Полученный показатель соответствия предприятий критериям смарт-индустриализации k_J вполне адекватно интегрирует показатели смартизации капитала и «смартоёмкости» производства (см. динамику на рис. 3 и 5) и даёт возможность сравнивать по этому критерию любые производства

независимо от их масштабов (сравнивать порядок данных, а не сопоставлять количественно). Коэффициенты, получаемые при сравнении разных экономик, не будут линейно отражать уровень отставания, так как при внимательном рассмотрении данного показателя можно заметить, что в

числителе содержится квадрат величины $k_{J/K}$:

$$k_{J/K} \cdot k_{J/Y} = k_{J/K} \cdot k_{J/K} \cdot \frac{K}{Y} = k_{J/K}^2 \frac{K}{Y}.$$

Следовательно, по соотношению (2) при сравнении экономик будут получаться величины, по которым нельзя сказать, во сколько раз одна экономика по критерию смарт-индустриализации опережает другую. Данное несоответствие легко устранить, если в качестве критерия смартизации использовать корень квадратный из величины (2)

$$k_J = \sqrt{\frac{k_{J/K} \cdot k_{J/Y}}{1 + k_{J/K} \cdot k_{J/Y} - k_{J/K}}} = \sqrt{\frac{k_{J/K} \cdot k_{J/Y}}{1 + k_{J/K} (k_{J/Y} - 1)}}. \quad (3)$$

Показатель (3) позволяет уже количественно сравнивать любые экономики, независимо от масштаба производства и уровня развития смарт-промышленности. Сравнительные графики по этому показателю

будут представлены ниже на рис. 9 вместе с экономикой Украины. Здесь лишь следует отметить, что по этому критерию перерабатывающая промышленность Чехии приблизительно в 1,5 раза более развита, чем Австралии (а не в 2, как следует из рис. 7), а Германии – в 1,5 раза более развита, чем Чехии (а не в 3, как следует из рис. 7).

Что касается Украины, то полноценно реализовать предложенный подход к оценке смартизации перерабатывающей промышленности не представляется возможным ввиду отсутствия статистических данных – Государственная служба статистики Украины не собирает и не размещает на своем сайте или в сборниках статистику по показателю стоимости КПО и БД. Из показателей, в той или иной степени имеющих отношение к необходимым показателям, можно отметить «Капитальные инвестиции в программное обеспечение и базы данных» (доступно по экономике в целом, но не в разрезе видов экономической деятельности – табл. 1).

Таблица 1 – **Некоторые показатели капитальных инвестиций по экономике Украины в целом, млн грн**¹

Год	Валовая добавленная стоимость	Капитальные инвестиции	Капитальные инвестиции в машины, оборудование и инвентарь	Капитальные инвестиции в программное обеспечение и базы данных
2001	180490	-	-	-
2002	201194	-	-	-
2003	240217	-	-	-
2004	313046	-	-	-
2005	388601	-	-	-
2006	474123	-	-	-
2007	634794	-	-	-
2008	824176	-	-	-
2009	796481	-	-	-
2010	954472	180575,5	54059,2	2802,4
2011	1122558	241286,0	71771,4	3254,0
2012	1213069	273256,0	77015,4	3409,1
2013	1283812	249873,4	79032,9	3477,6
2014	1382719	219419,9	68948,8	3207,3
2015	1689387	273116,4	84423,2	4908,4
2016	2023228	359216,1	123133,3	6315,5
2017	2519561	448461,5	154721,7	8196,4
2018	-	526341,8	174156,2	10719,9

¹ Составлено по источнику [3].

На основе имеющихся данных можно рассчитать определенные показатели, которые не являются непосредственной реализацией разработанного подхода, однако

позволяют сделать определенные выводы в отношении темпов смарт-индустриализации (табл. 2).

Таблица 2 – **Некоторые относительные показатели капитальных инвестиций по экономике Украины в целом, %**¹

Год	Доля инвестиций в КПО и БД в капитальных инвестициях	Доля инвестиций в машины, оборудование и инвентарь в капитальных инвестициях	Соотношение инвестиций в КПО и БД и инвестиций в машины, оборудование и инвентарь
2010	1,55	29,94	5,18
2011	1,35	29,75	4,53
2012	1,25	28,18	4,43
2013	1,39	31,63	4,40
2014	1,46	31,42	4,65
2015	1,80	30,91	5,81
2016	1,76	34,28	5,13
2017	1,83	34,50	5,30

¹ Составлено по источнику [3].

Безусловно, наличие показателей только по инвестициям не позволяет оценить текущую степень смарт-индустриализации экономики Украины, однако соотношения инвестиций позволяют оценить тенденции: очевидно, что с течением времени, по мере выбытия нынешних основных средств и их замещения новыми (что выражается в осуществлении инвестиций), соотношения активов будут стремиться к нынешним соотношениям инвестиций.

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать следующие выводы:

структура инвестиций в контексте оценки смарт-индустриализации с 2010 по 2017 г. не претерпела существенных изменений: доля инвестиций в КПО и БД в капитальных инвестициях колебалась в районе 1,5%; доля инвестиций в машины, оборудование и инвентарь в капитальных инвестициях колебалась в районе 32%, а соотношение инвестиций в КПО и БД и инвестиций в машины, оборудование и инвентарь – в районе 5%;

соотношение инвестиций в КПО и БД и инвестиций в машины, оборудование

и инвентарь (графа 4 табл. 3) не изменилось с 2010 г. и колеблется в районе 5%. Если сравнивать со смартвооруженностью машин и оборудования в рассмотренных выше странах, то эта величина уступает лишь Германии (см. рис. 3). Однако еще раз следует подчеркнуть, что это для Украины потенциально возможное соотношение затрат факторов производства в будущем по мере полного замещения машин и оборудования. Динамика такого соотношения инвестиций свидетельствует о том, что приобретение машин и оборудования не сопровождается ростом доли КПО, который позволил бы использовать это оборудование в духе парадигмы смарт-индустриализации (Интернет вещей, большие данные, автоматизированное принятие решений, искусственный интеллект и т. п.). Можно предположить, что в большинстве случаев это оборудование не является передовым, поскольку не требует параллельной закупки КПО и БД, позволяющих объединять это оборудование в сети Интернета вещей или управлять им на основе анализа больших данных.

Неизменность соотношений позволяет сделать косвенный, однако достаточно обоснованный, вывод о том, что если за последние 10 лет структура инвестиций оставалась без изменений, то и структура активов осталась такой же. В отличие от рассмотренных выше более промышленно развитых стран, смартвооруженность машин и оборудования в экономике Украины не растет.

Поскольку предлагаемый подход к оценке уровня смартизации производства инвариантен к масштабам производства,

можно рассчитать данные показатели по отдельным ведущим промышленным предприятиям Украины. Это косвенно также может служить оценкой уровня смартизации отрасли. Рассмотрим в качестве такого предприятия ЧАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ) – один из крупнейших в Украине и мире заводов тяжёлого машиностроения. Статистика затрат исследуемых факторов производства за последние годы представлена в табл. 3.

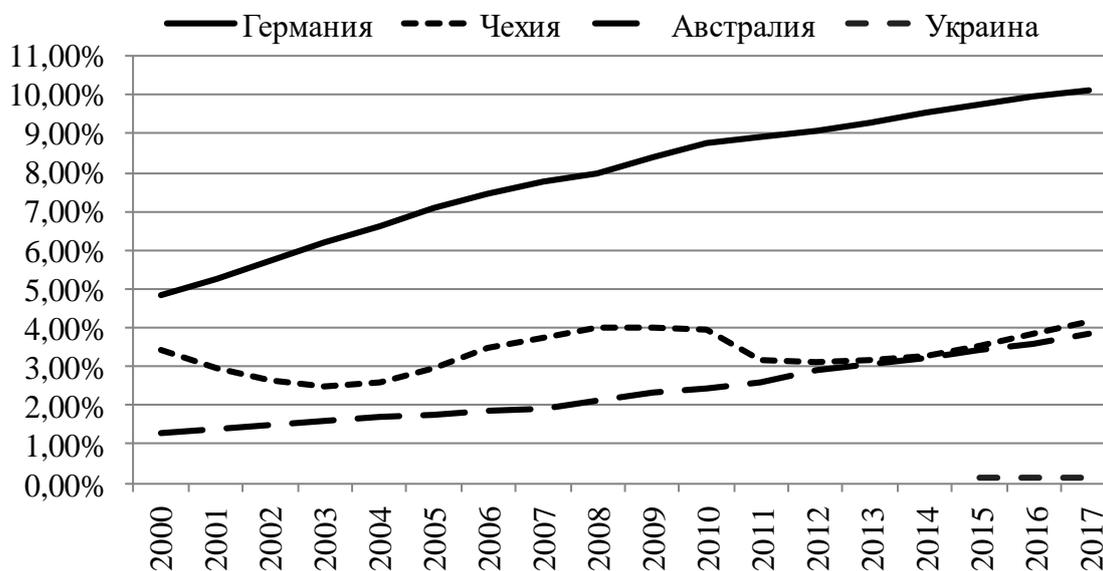
Таблица 3 – Затраты факторов производства на НКМЗ, тыс. грн ¹

Год	Выпуск продукции за год	Материальные затраты	Стоимость машин и оборудования	Стоимость КПО и БД
2015	2465593,4	1322233	3097953	4580
2016	2579574,4	1673574	3151449	4578
2017	3577994,9	2365039	3329997	4458

¹ Составлено по источникам [6; 7].

Расчеты по табл. 3 показывают, что уровень смартвооруженности машин и оборудования k_{JK} в 2015-2017 гг. составляет 0,148; 0,145 и 0,134% соответственно.

Если добавить этот показатель в рис. 3, то получим наглядное место Украины в ряду развитых стран по уровню использования «умных» машин (рис. 8).

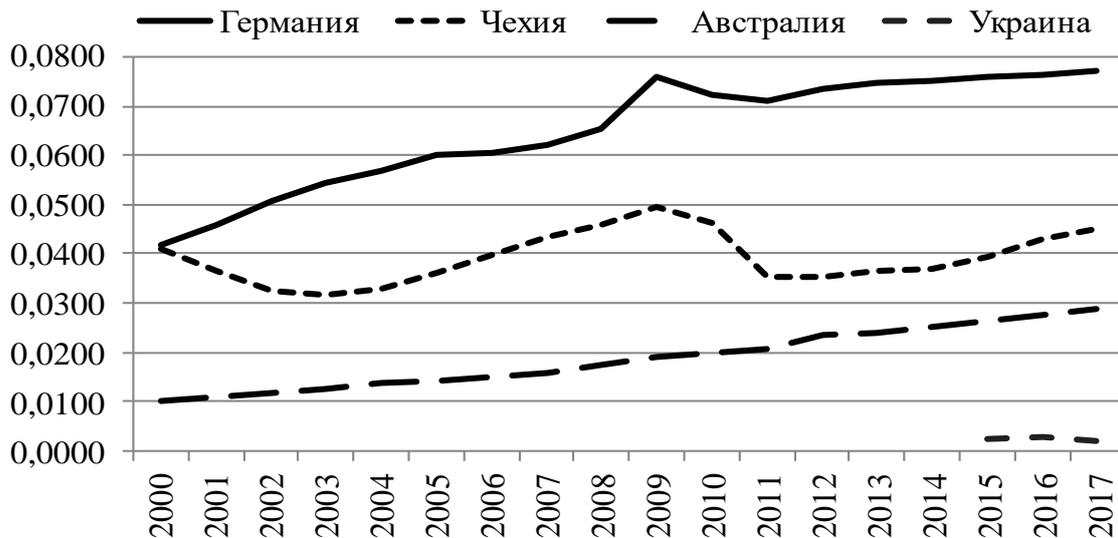


Составлено по источникам [6; 7; 12].

Рисунок 8 – Место Украины в динамике отношения стоимости КПО и БД к стоимости машин и оборудования

С учетом того, что НКМЗ всё-таки предприятие тяжелого машиностроения, имеющее объективно значительно более высокий уровень капиталоемкости производства, чем среднеевропейский по перерабатывающей промышленности, применять такой подход к сравнению уровня смартизации производства не совсем корректно. Именно поэтому предложен второй

показатель k_J (по методике 3), учитывающий факт капиталоемкости. Так, смарт-ёмкость производства НКМЗ в 2015-2017 годах (k_{JY}) составила: 0,4%, 0,51% и 0,37%. И динамика соответствующего интегрального показателя смартизации производства k_J (составляющая значения 0,0024; 0,0027; 0,0022) представлена на рис. 9.



Составлено по источникам [6; 7; 12].

Рисунок 9 – Динамика интегрального показателя смартизации производства в перерабатывающей промышленности развитых стран за 2000-2017 гг. и НКМЗ как представителя отрасли тяжелого машиностроения Украины в 2015-2017 гг.

Таким образом, в 2017 г. уровень соответствия критериям смарт-индустриализации предприятия НКМЗ как ведущего представителя отрасли тяжелого машиностроения в Украине был в 13 раз меньше, чем у перерабатывающей промышленности Австралии, в 20 раз меньше Чехии и в 36 раз меньше Германии. Хотя по трем точкам нельзя судить о динамике, тем не менее никаких предпосылок по радикальному улучшению данной ситуации из полученных данных не наблюдается.

Общий вывод заключается в том, что, судя по показателям капитальных инвести-

ций в целом в экономике Украины и показателям деятельности лидера тяжелого машиностроения Украины, смарт-индустриализация за последние годы не наблюдалась, поэтому вести речь о построении современной экономики не приходится. При реализации задачи развития смарт-экономики будет увеличиваться доля инвестиций в КПО и БД в капитальных инвестициях, а также соотношение инвестиций в КПО и БД инвестиций в машины, оборудование, чего на данный момент не наблюдается.

Более основательные выводы по текущей ситуации можно было бы сделать при использовании разработанного подхода к оценке смартизации, но этому препятствует отсутствие необходимой статистической информации.

Выводы. Поскольку одной из ключевых тенденций современного этапа развития промышленности является повышение роли цифровых информационных технологий во всех аспектах производственной деятельности (так называемая смартизация), то для обоснования управленческих решений в данной сфере необходима оценка критериев соответствия как отдельных предприятий, так и целых отраслей и даже стран критериям смартизации, что требует использования соответствующих показателей, причем в настоящее время таких показателей предложено не было. В качестве основного фактора для анализа уровня смартизации выбрана стоимость компьютерного программного обеспечения и баз данных (КПО и БД) в ее соотношениях с добавленной стоимостью и стоимостью машин и оборудования.

Для апробации разработанного подхода выбраны Германия, Чехия и Австралия. Германия – как эталон процессов информационного развития в Европе; Чехия – как образец развитой страны с особым, социалистическим, прошлым; Австралия – как удаленная от Европы развитая страна. Кроме того, выбор стран связан с наличием необходимой статистики по стоимости КПО и БД, которая представлена по довольно ограниченному количеству стран. Стоимость КПО и БД в Германии и Австралии устойчиво растёт из года в год: для Германии увеличение составило 110% (в 2,1 раза), для Австралии – 168% (в 2,68 раза). В Чехии же при общем росте в 146% рост не был всегда устойчивым и наблюдался в 2003-2009 и 2013-2017 гг., в остальные периоды имело место снижение данного показателя.

Аргументировано, что уровень смартизации в перерабатывающей промышленности можно оценить по соотношению

стоимости КПО и БД (J) и стоимости машин и оборудования (K): $k_{J/K}$. Стоимость КПО и БД коррелирует со сложностью и разнообразием решаемых задач, поэтому данный показатель в динамике отражает рост сложности выполняемых задач на единицу используемого оборудования, в частности интеллектуализацию используемых машин. Кроме того, этот показатель является сравнимым для различных экономик и производств, сравнимым в динамике, его можно использовать на микроуровне для оценки смартизации отдельных предприятий. Однако ему присущ один существенный недостаток – он не учитывает уровень технологической вооруженности производства и, соответственно, ее влияния на создание добавленной стоимости, поэтому если влияние фактора «машин и оборудование» на добавленную стоимость минимально, то какие бы ни были высокие показатели $k_{J/K}$, говорить о смартизации промышленности невозможно.

Чтобы обойти проблему связи показателя смартизации капитала $k_{J/K}$ с уровнем смартизации производства/экономики, необходимо учитывать капиталоемкость. В тех производствах, где капиталоемкость высокая, уровень смартизации капитала $k_{J/K}$ в той или иной степени будет отражать и смартизацию производства; в противном случае однозначных выводов сделать нельзя. Поэтому в качестве основного показателя смартизации предложено использовать интегральный показатель смартизации производства, учитывающий смартовооруженность ($k_{J/K}$) и смартоёмкость ($k_{J/Y}$)

производства:

$$k_J = \sqrt{\frac{k_{J/K} \cdot k_{J/Y}}{1 + k_{J/K}(k_{J/Y} - 1)}}.$$

Числитель показывает уровень смартизации производства с учетом смартизации капитала и участия капитала в создании добавленной стоимости; знаменатель вносит поправку, необходимую в первую очередь для обеспечения адекватности значений функции при приближении аргументов к своим экстремальным значениям; квад-

ратный корень служит для линеаризации полученных значений.

Анализ значений предложенного показателя по перерабатывающей промышленности Германии, Чехии и Австралии позволил сделать вывод о том, что среди рассматриваемых стран Германия является передовой страной по уровню смартизации, Чехия занимает второе место, а Австралия отстает. Эти данные коррелируют с имеющейся информацией об уровне развития передового производства в рассматриваемых странах.

Ввиду отсутствия в украинской статистике ключевых показателей, необходимых для выполнения расчетов по предложенному подходу, выполнены расчеты других показателей, характеризующих смарт-индустриализацию экономики Украины. В частности, неизменность (на уровне 5%) соотношения инвестиций в программное обеспечение и базы данных и инвестиций в машины, оборудование и инвентарь за последние 10 лет свидетельствует о том, что Украина осталась в стороне от развернувшейся в развитых странах Запада и Востока смарт-индустриализации: инвестиции в машины и оборудование не сопровождаются инвестициями в создание программной среды смарт-промышленности.

Поскольку предложенный показатель соответствия экономики критериям смарт-индустриализации инвариантен к масштабам производства, оценить уровень «смартизации» промышленности Украины можно косвенно по уровню «смартизации» отдельных предприятий – представителей той или иной отрасли. Так, состояние тяжелого машиностроения Украины вполне адекватно можно оценить по уровню «смартизации» ведущего представителя этой отрасли – ЧАО «Новокраматорский машиностроительный завод». В 2017 г. уровень соответствия НКМЗ критериям смарт-индустриализации отстает от перерабатывающей промышленности Австралии в 13 раз, Чехии – в 20, Германии – в 36. При этом какая-либо положительная дина-

мика развития отсутствует, и это отставание со временем будет только расти.

Для получения всесторонних и более объективных выводов о состоянии развития смарт-промышленности Украины целесообразно рекомендовать Государственной службе статистики Украины добавить в перечень учитываемых показателей дополнительный показатель «Стоимость программного обеспечения и баз данных» (аналогично тому, как этот показатель учитывается в статистике Организации экономического сотрудничества и развития).

Перспективным направлением исследований, с учетом наличия отмеченной статистической информации по Украине, является оценка уровня смарт-индустриализации промышленности страны в разрезе отраслей с целью определения приоритетных направлений инвестирования для развития смартизации.

Литература

1. Доклад о мировом развитии «Цифровые дивиденды». Washington: Международный банк реконструкции и развития. Всемирный банк, 2016. 58 с.
2. Зоркальцев В. И. *Индексы цен и инфляционные процессы*. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 279 с.
3. Капітальні інвестиції за видами активів за 2010-2017 роки. Капітальні інвестиції (щоквартальні показники) за січень-грудень 2018 року. *Укрстат*, 2019. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
4. Мадых А. А., Охтеня О. О., Дасів А. Ф. Моделювання фактору цифровізації виробництва в процесі становлення смарт-промисловості (на прикладі переробної промисловості Німеччини): науково-аналітична доповідь. НАН України, Ін-т економіки пром-сті. К., 2018. 41 с.
5. Мадых А. А., Охтеня А. А. Моделирование трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности. *Экономика промышленности*. 2018. № 4 (84). С. 26-41. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.026>.

6. Річна інформація емітента цінних паперів ПАТ «НКМЗ» за 2016 рік. *НКМЗ*, 2019. URL: http://www.nkmz.com/fileadmin/services/actioners/godovoy_otchet_2016.pdf

7. Річна інформація емітента цінних паперів ПАТ «НКМЗ» за 2017 рік. *НКМЗ*, 2019. URL: http://nkmz.com/fileadmin/services/actioners/godovoy_otchet_2017.pdf

8. Суслов И. П. *Основы теории достоверности статистических показателей*. ИЭОПП СО АН СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-е, 1979. 304 с.

9. Brynjolfsson E., McElheran K. *Data in Action: Data-Driven Decision Making in U.S. Manufacturing*. 2016. URL: http://www.economics.cornell.edu/sites/default/files/files/events/Brynjolfsson_McElheran_AEA_2016.pdf.

10. *Digitale Wirtschaft und Gesellschaft* / Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2018. URL: <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>.

11. Douglas P. The Cobb-Douglas Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values. *The Journal of Political Economy*. 1976. 5 (84). pp. 903-916. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/260489>.

12. *Fixed assets by activity and by asset, ISIC rev4* / OECD, 2018. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE9A.

13. Griliches Z., Mairesse J. *Production Functions: The Search for Identification*. Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium (Econometric Society Monographs). Cambridge: Cambridge University Press, 1999. pp. 169-203.

14. *Industrie 4.0*. Germany Trade & Invest, 2018. URL: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Industrie-4-0/Industrie-4-0/industrie-4-0-what-is-it.html>.

15. Kim K., Jung J.-K., Choi J.-Y. Impact of the Smart City Industry on the Korean National Economy: Input-Output Analysis. *Sustainability*. 2016. 8 (7). pp. 649-678.

16. Madykh A.A., Okhten O.O., Dasiv A.F. Analysis of the world experience of economic

and mathematical modeling of smart enterprises. *Economy of Industry*. 2017. № 4 (80). pp. 19-46. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2017.04.019>.

17. Solow R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957. Vol. 39, No. 3. pp. 312-320. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/1926047>.

18. *Value added and its components by activity, ISIC rev 4*. OECD, 2018. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE6A.

References

1. IBRD (2016). World Development Report «*Digital Dividends*». Washington: International Bank for Reconstruction and Development / World Bank. 58 p.

2. Zorkalcev, V. I. (1996). *Price Indices and Inflation Processes*. Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing House of the RAS [in Russian].

3. Ukrstat (2019). *Capital investments by types of assets for 2010-2017 years. Capital investments (quarterly figures) for January, December 2018*. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].

4. Madykh, A. A., Okhten, O. O., & Dasiv, A. F. (2017). Analysis of the world experience of economic and mathematical modeling of smart enterprises. *Econ. promisl.*, 4 (80), pp. 19-46. doi: [10.15407/econindustry2017.04.019](http://doi.org/10.15407/econindustry2017.04.019) [in Ukrainian].

5. Madykh, A. A., & Okhten, O. O. (2018). Modeling the transformation of the impact of production factors on the economy in the process of smart industry formation. *Econ. promisl.*, 4 (84), pp. 26-41. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.04.026> [in Russian].

6. NKMZ (2019). *Annual information of the issuer of securities of "NKMZ" for 2016*. Retrieved from http://www.nkmz.com/fileadmin/services/actioners/godovoy_otchet_2016.pdf [in Ukrainian].

7. NKMZ (2019). *Annual information of the issuer of securities of "NKMZ" for 2017*. Retrieved from http://nkmz.com/fileadmin/services/actioners/godovoy_otchet_2017.pdf [in Ukrainian].

8. Suslov, I. P. (1979). *Fundamentals of the Theory of Reliability of Statistical Indicators*. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch [In Russian].
9. Brynjolfsson, E. & McElheran, K. (2016). *Data in Action: Data-Driven Decision Making in U.S. Manufacturing*. Retrieved from http://www.economics.cornell.edu/sites/default/files/files/events/Brynjolfsson_McElheran_AEA_2016.pdf.
10. Digitale Wirtschaft und Gesellschaft (2018). *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. Retrieved from <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>.
11. Douglas, P. (1976). The Cobb Douglas Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values. *The Journal of Political Economy*, 5(84), pp. 903-916. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/260489>.
12. OECD (2018). *Fixed assets by activity and by asset, ISIC rev4*. Retrieved from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE9A.
13. Griliches, Z., & Mairesse, J. (1999). *Production Functions: The Search for Identification*. Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium (Econometric Society Monographs). Cambridge: Cambridge University Press. pp. 169-203.
14. Germany Trade & Invest (2018). *Industrie 4.0*. Retrieved from <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Industrie-4-0/Industrie-4-0/industrie-4-0-what-is-it.html>.
15. Kim, K., Jung, J.-K., & Choi, J.-Y. (2016). Impact of the Smart City Industry on the Korean National Economy: Input-Output Analysis. *Sustainability*, 8 (7). pp. 649-678.
16. Madykh, A. A., Okhten, A. A., & Dasiv, A. F. (2018). *Modeling the factor of digitalization of production in the process of formation of the smart industry (on the example of the German processing industry): a scientific and analytical report*. K. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Industrial Economics [in Ukrainian].
17. Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 3 (39), pp. 312-320. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/1926047>.
18. OECD (2018). *Value added and its components by activity, ISIC rev4*. Retrieved from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE6A.

Алла Федорівна Дасів,

канд. екон. наук

e-mail: alladasiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>;

Артем Анатолійович Мадих,

канд. екон. наук

e-mail: artem.madykh@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2197-7860>;

Олексій Олександрович Охтень,

канд. екон. наук, с.н.с.

Інститут економіки промисловості НАН України

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

e-mail: aokhten@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ РІВНЯ СМАРТ-ІНДУСТРІАЛІЗАЦІЇ

Розроблено підхід до оцінки відповідності промислового виробництва окремих підприємств й економіки загалом критеріям смарт-індустріалізації, а також виконано оцінку з використанням цього підходу ступеня смартизації економік розвинутих країн і України. У даний час не існує підходів, що дозволяють достатньо об'єктивно оцінити рівень смарт-індустріалізації економіки країни в цілому або окремих підприємств. Оскільки впровад-

ження смарт-технологій (великі дані, Інтернет речей, розумні датчики тощо) супроводжується зростанням інвестицій у комп'ютерне програмне забезпечення та бази даних (КПЗ і БД), в основу такого критерію оцінки рівня смартизації може бути покладений показник інвестицій в КПЗ і БД або ж вартість використовуваних КПЗ і БД у виробництві, який буде прямо корелювати зі складністю вирішуваних кібернетичними системами задач. Показано доцільність використання співвідношення вартості КПЗ і БД з вартістю машин і устаткування («смартизація» капіталу) та співвідношення вартості КПЗ і БД із доданою вартістю («смартомісткість» виробництва). Ці співвідношення становлять основу шуканого узагальнюючого показника відповідності промислових підприємств критеріям смарт-індустриалізації. Отриманий показник має низку переваг: він є простим в обчисленні, одержані оцінки – стійкі та надійні, він не вимогливий до порівнянності вихідних даних, може розглядатися в динаміці, інваріантний до масштабу виробництва та може розраховуватися як для окремих підприємств, так і для галузі або економіки загалом.

Показник апробований на даних Австралії, Німеччини, Чехії та України, при цьому моделювання для України ускладнено тим, що офіційна статистика щодо вартості КПЗ і БД для переробної промисловості відсутня. Аналіз результатів моделювання дозволив дійти висновку про те, що Україна залишилася осторонь від смарт-індустриалізації, яка розгорнулася в розвинених країнах: інвестиції в машини й обладнання не супроводжуються інвестиціями у створення програмного середовища смарт-промисловості. Розроблені показники можуть використовуватися при обґрунтуванні управлінських рішень як на мікро-, так і на макрорівні, зокрема, для визначення напрямів інвестування, порівняння з провідними економіками і компаніями, а також для оцінки ефективності державної політики у сфері смарт-індустриалізації.

Ключові слова: оцінка, смарт-індустриалізація, переробна промисловість, смарт-підприємства, економіко-математичне моделювання.

Alla F. Dasiv,

PhD in Economics

e-mail: alladasiv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5431-701X>;

Artem A. Madykh,

PhD in Economics

e-mail: artem.madykh@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2197-7860>;

Aleksey A. Okhten,

PhD in Economics, senior research associate

Institute of the Economy of Industry of the NAS of Ukraine

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

e-mail: aokhten@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1629-3891>

MODELLING THE ASSESSMENT OF SMART-INDUSTRIALIZATION LEVEL

In the paper an approach to assessing the conformity of industrial production, individual enterprises in particular and the economy as a whole has been developed in accordance with the smart industrialization criteria, as well as the level of smartization of advanced countries' economies and Ukrainian economy has been assessed using this approach.

Currently, there are no approaches that allow a fairly objective assessment of the smart industrialization level of a country's economy or individual enterprises. Given that the introduction of smart technologies (big data, the Internet of things, smart sensors, etc.) is accompanied by an increase in investments in computer software and databases (software and DB), these investments

or the costs of software and DB, used in manufacturing, which will directly correlate with the complexity of the tasks, solved by cybernetic systems, should become the base for evaluating the level of smartness. The paper shows the feasibility of using the ratio of software and DB costs to costs of machinery and equipment (“smartization” of capital) and the ratio of software and DB costs to the value added (“smart intensity” of manufacturing). These proportions have been used as the basis of the required composite indicator of industrial enterprises’ compliance with the smart industrialization criteria. The obtained indicator has a number of advantages: it’s simple to calculate; the obtained estimates are stable and reliable; it doesn’t require the initial data to be comparable; it can be analyzed over time; it’s invariant to the scale of manufacturing and can be calculated both for individual enterprises and for the industry or economy as a whole.

The indicator was tested on data from Australia, Germany, the Czech Republic and Ukraine, while modeling for Ukraine was complicated by the lack of official statistics on the value of software and DB for the manufacturing industry. The analysis of the modeling results led to the conclusion that Ukraine lags behind the advanced economies in terms of smart industrialization: investments in machinery and equipment are not accompanied by investments in the creation of the software environment of the smart industry. The created indicators can be used to substantiate managerial decisions at both the micro and macro levels, in particular – to determine directions of investments, compare with advanced economies and companies, and also to assess the effectiveness of government policies in the smart industrialization.

Keywords: assessment, smart industrialization, processing industry, smart enterprises, economic and mathematical modeling.

JEL: C130, L600, L860, O300, O400

Форматы цитирования:

Дасив А. Ф., Мадых А. А., Охтенъ А. А. Моделирование оценки уровня смарт-индустриализации. *Экономика промышленности*. 2019. № 2(86). С. 107-125. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.02.107>

Dasiv, A. F., Madykh, A. A., & Okhten, A. A. (2019). Modelling the assessment of smart-industrialization level. *Econ. promisl.*, 2(86), pp. 107-125. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.02.107>

Представлена в редакцию 15.05.2019 г.