

Артём Анатольевич Мадых,*канд. экон. наук*E-mail: artem.madykh@gmail.com;**Алексей Александрович Охтен,***канд. экон. наук, с.н.с.*

Институт экономики промышленности НАН Украины

Украина, 03057, г. Киев, ул. Желябова, 2.

E-mail: aokhten@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКОНОМИКУ В ПРОЦЕССЕ СТАНОВЛЕНИЯ СМАРТ-ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Идентифицирован фактор производства, связанный со смарт-индустриализацией, и на примере перерабатывающей промышленности Германии как страны, в которой на государственном уровне провозглашена и реализуется программа развития «Промышленность 4.0», выполнено моделирование соответствующей производственной функции.

Аргументировано, что существующие подходы к учету научно-технического прогресса при построении производственных функций не подходят для моделирования трансформации влияния производственных факторов в процессе становления смарт-промышленности, поскольку научно-технический прогресс обычно представлен не конкретным измеримым показателем, а просто натуральным рядом чисел, отражающим ту часть изменения производства, которая не объясняется изменением учитываемых факторов.

Установлено, что в перерабатывающей промышленности Германии в условиях снижения затрат труда и капитала выпуск продукции растет. Это свидетельствует о влиянии еще как минимум одного фактора, связанного с переходом к новому технологическому укладу – смарт-промышленности. Идентифицированы сложности оценки влияния смарт-фактора на производство – как объективные (взаимозависимость факторов информатизации и сложность выделения вклада каждого из них), так и субъективные (полное отсутствие или фрагментарность статистической информации). На основе анализа статистики установлено, что наиболее точным показателем, отражающим влияние на производство фактора информатизации, выступает стоимость программного обеспечения и баз данных (ПО и БД).

Построена модель, представляющая собой адаптацию модели Кобба-Дугласа, в которой в качестве эндогенной переменной используется добавленная стоимость в перерабатывающей промышленности, а в качестве экзогенных – количество отработанных часов (фактор труда), стоимость машин и оборудования с лагом в 1 год (фактор капитала) и стоимость ПО и БД (фактор информатизации). Анализ результатов моделирования позволил сделать вывод о том, что информатизация превратилась в важный фактор производства и демонстрирует потенциал к замещению прочих факторов производства – труда и капитала. Модель может использоваться для обоснования направлений развития смарт-промышленности на макроуровне, а также может быть положена в основу разработки критериев оценки уровня «смартизации» предприятий.

Ключевые слова: производственная функция, Германия, перерабатывающая промышленность, смарт-предприятия, экономико-математическое моделирование.

JEL: C67, O30, O40, L60

Промышленная революция 4.0, которая открывает принципиально новые возможности организации производства с ис-

пользованием киберфизических систем, больших данных, искусственного интеллекта, тотальной автоматизации, приводит к

© А.А. Мадых, А.А. Охтен, 2018

необходимости пересмотра влияния традиционных факторов производства на добавленную стоимость. Производство требует все меньшего количества человеческого труда, который замещается киберфизическими системами, при этом в 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 влиянию на производство, что представляется целесообразным рассмотреть его в качестве отдельного фактора производства, значение которого в информационную эпоху будет только возрастать [30].

Традиционными факторами производства, использующимися в классических производственных функциях, выступают труд, земля и капитал [6]. Тот факт, что одно и то же количество труда и капитала для разных производств и для разных временных периодов дает разный объем производства, привел к выделению еще двух, несколько искусственных, факторов производства: предпринимательской способности как умения правильно скомбинировать прочие факторы и научно-технического прогресса как некой функции от других растущих факторов (например, инвестиций, но чаще просто натурального ряда – шкалы времени). Начиная с модели Солоу [35], который включил технический прогресс в качестве фактора экономического роста в модель производственной функции Кобба-Дугласа, впоследствии вышло большое количество работ, посвященных моделированию экономического роста и влиянию на него научно-технического прогресса (НТП) [3; 13; 18; 20; 29; 31; 34]. Однако в них по сути НТП рассматривается как разница между величиной роста объема производства и величиной роста труда и капитала, то есть как мера незнания причин экономического роста («остаток Солоу»). Именно поэтому в большинстве моделей производственных функций, базирующихся на функции Кобба-Дугласа, НТП входит как функция от натурального

ряда (по сути, от количества оборотов Земли вокруг Солнца с произвольным годом начала отчета), которая математически лучшим образом аппроксимирует этот остаток. Экономического смысла в такой оценке НТП нет. При этом, учитывая, что в информационную эпоху перехода к IV промышленной революции НТП должен очень сильно коррелировать с информационной обеспеченностью и развитостью информационных технологий, представляется возможным оценить его явно, через экономические категории. Поэтому в данной работе будет осуществлена попытка учесть НТП в производстве именно в период становления нового производственного уклада, связанного с информационной революцией и развитием киберфизических систем.

Целью статьи является выявление фактора производства, связанного со становлением smart-промышленности, и моделирование трансформации влияния производственных факторов на экономику с использованием производственной функции.

Экономико-математическое моделирование влияния экономических факторов друг на друга, основанное на использовании статистического материала и, особенно, рядов динамики, требует тщательного отбора исходных данных, чтобы если не исключить, то хотя бы свести к минимуму вероятность системных ошибок, логических искажений, неадекватных усреднений, необоснованных выводов [1; 7-9; 33]. Поверхностный подход к отбору статистического материала приводит к получению результатов, которые не имеют аналитической ценности, не отражают существующих причинно-следственных связей, а прогнозирование по таким моделям оказывается бессмысленным. В связи с этим особое внимание следует уделить методике отбора исходных данных для анализа.

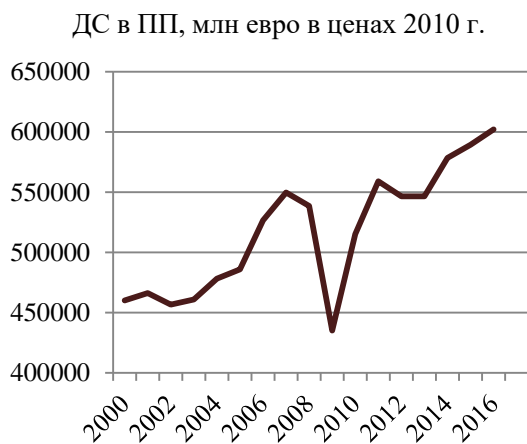
Первый вопрос – выбор объекта исследования. Это должна быть развитая страна, в которой процессы цифровизации экономики идут уже достаточно давно, ведется полный и разносторонний статис-

тический учет. Перспективной страной для исследования является Германия. Тем более, что именно в Германии в 2011 г. на официальном уровне была провозглашена четвертая промышленная революция (Industrie 4.0), направленная на смартизацию производств [21; 26]. В качестве объекта исследования выступает перерабатывающая промышленность Германии (без учета сферы услуг, финансового сектора и т.п.), а также без учета добывающей промышленности. Как следует из классических работ [22; 25; 35], основными факторами производства в перерабатывающей промышленности являются труд и капитал.

Идентификация корреляционно-регрессионных зависимостей в рядах динамики требует большой осторожности, так как в таких рядах часто наблюдается мультиколлинеарность на самом деле совершенно независимых друг от друга факторов, которая вызвана действием третьего общего неучтенного фактора [2; 19]. Такая же ошибка возникает, если брать в каче-

стве рядов динамики экономические факторы в текущих ценах [4; 7; 10]. Наличие даже небольшой инфляции в 3-4%, которая влияет на рост цен по всей экономике, на протяженном периоде времени в 15-20 лет за счет эффекта геометрической прогрессии дает крутой восходящий тренд с разницей между начальными и конечными наблюдениями в разы. Это приводит к коррелируемости практически всех показателей, измеренных в денежном выражении, поэтому показатели, измеряемые в стоимостном выражении, необходимо брать исключительно в сопоставимых ценах. Методическая сложность заключается в том, что статистические данные в сопоставимых ценах получить гораздо сложнее, чем в текущих [4; 16], в статистике они представлены по гораздо меньшему количеству показателей.

На рис. 1 представлена динамика добавленной (ДС) стоимости и стоимости основных фондов (ОФ) в перерабатывающей промышленности Германии.



а)



б)

Источник данных: [24; 37].

Рис. 1. Динамика экономических показателей Германии:

- а) добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г.;
б) стоимости ОФ в перерабатывающей промышленности в текущих ценах и ценах 2010 г.

Стоимость основных фондов в текущих ценах якобы гораздо точнее описывает поведение добавленной стоимости, так

как и там, и там наблюдается явный восходящий тренд, и зависимость добавленной стоимости от ОФ в текущих ценах стати-

стически будет гораздо достовернее, чем в сопоставимых. Однако ввиду вышеизложенных аргументов очевидно, что использовать ОФ необходимо именно в сопоставимых ценах.

Простым, очевидным и доступным показателем, отражающим затраты фактора труда, является фонд заработной платы. Однако даже если удастся получить индексы реального роста заработной платы по перерабатывающей промышленности, возникает проблема сопоставления затрат труда для разных экономик. Известно, что стоимость труда в разных странах отличается и зависит как от паритета покупательной способности различных валют, так и от

общего «богатства» страны [38]. Поэтому одно и то же физическое количество труда может отличаться в стоимостном выражении для разных экономик в разы. В итоге это приведет к невозможности распространения полученных для Германии выводов на другие страны.

В связи этим целесообразно оценивать труд в натуральных единицах, которые при необходимости можно легко перевести в стоимостные. Из доступных показателей наиболее простыми и очевидными являются численность занятых в перерабатывающей промышленности или количество отработанных часов (рис. 2).



а)



б)

Источник данных: [28; 37].

Рис. 2. Динамика экономических показателей Германии:
 а) добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г.;
 б) численности занятых и количества отработанных часов в перерабатывающей промышленности Германии

Кризис 2008-2009 гг. [23] дал богатый материал для идентификации причинно-следственных зависимостей, когда причинно-следственные колебания являются существенными и не теряются среди шума, статистических погрешностей и воздействий иных неучтенных факторов. Так, при всей схожести графиков на рис. 2б можно заметить, что в период 2008-2011 гг. фазы колебаний добавленной стоимости и количества отработанных часов полностью сов-

падают, а оба показателя достигают минимума в 2009 г. А вот численность занятых повторяет эту же динамику уже на отрезке в 2009-2012 гг., то есть с лагом в 1 год, достигая своего минимума в 2010 г. Скорее всего, это можно объяснить следующим образом: резкое падение спроса в 2009 г. привело к обрушению произведенной добавленной стоимости и, как следствие, уменьшению фактически отработанных часов, по крайней мере, в той части, кото-

рая учитывается по сдельным тарифам. А вот увольнение и сокращение персонала происходило не сразу, а лишь после определенного периода осознания всей глубины падения и поиска новой равновесной точки соответствия необходимого количества труда уменьшившемуся объему выпуска [32].

Таким образом, количество отработанных часов является более информативным показателем связи затрат труда и произведенной продукции, так как более гибко реагирует на необходимость сокращения или увеличения объемов производства.

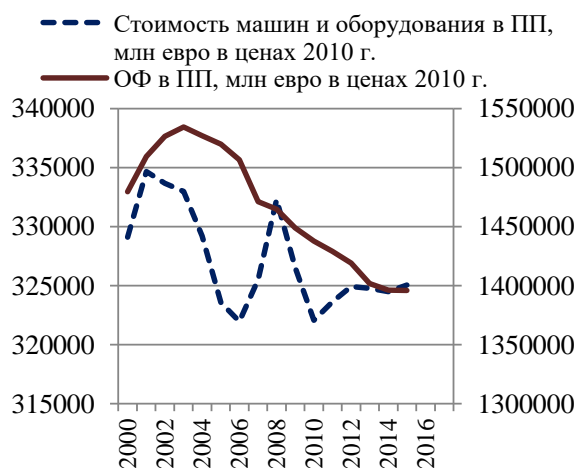
Оценка влияния капитала на добавленную стоимость с помощью показателя стоимости основных фондов (пусть даже в сопоставимых ценах) является очень поверхностным решением для построения производственной функции. Дело в том, что основные фонды в целом позволяют варьировать выпуск продукции в довольно широком диапазоне. Основные фонды же в части зданий и сооружений вообще не проявляют особой гибкости связи с необходимым изменением объемов производства: они находятся на балансе предприятий

десятилетиями и реагируют на изменение спроса с большим лагом, измеряемым годами. В некоторых исследованиях (например [17]) эта проблема якобы решается введением коэффициента использования основных фондов. Однако данный подход тупиковый в связи со своей рекурсивностью: статистического показателя коэффициента использования ОФ нет, и его можно получить только на основании известного объема выпуска продукции в сопоставлении с потенциально возможным.

Не идеальным, но все же определенным выходом из сложившейся ситуации является использование в качестве показателя капитала непосредственных средств производства – только части ОФ в виде машин и оборудования с исключением всего остального. Несмотря на то что одно и то же количество машин и оборудования также позволяет варьировать выпуск в довольно широком диапазоне, можно предполагать, что на довольно продолжительном отрезке времени предприятие склонно оптимизировать затраты на эту часть ОФ (рис. 3).



а)



б)

Источник данных: [24; 37].

Рис. 3. Динамика экономических показателей Германии:
а) добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г.;
б) стоимости ОФ в целом и стоимости машин и оборудования в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г.

В кризисные и посткризисные 2008-2012 гг. динамика стоимости ОФ в целом никак не реагирует на значительные изменения добавленной стоимости, демонстрируя стабильное снижение. Напротив, динамика стоимости машин и оборудования демонстрирует большую гибкость и в целом повторяет пики колебания добавленной стоимости. Хотя опять же можно заметить, что имеется некоторый лаг реагирования приблизительно в 1 год.

Объем выпуска продукции (добавленной стоимости), очевидно, зависит не только от затрат труда и капитала, но и от спроса на продукцию. Экономики развитых стран (как и почти любых других стран) способны произвести гораздо больше продукции, чем производят фактически, используя то же самое количество факторов производства. По крайней мере, в части капитала этот тезис очевиден. Ограничен этот объем производства исключительно спросом на продукцию. С другой стороны, можно предполагать, что производитель обладает рациональным поведением и вряд ли на протяжении длительного периода времени будет нести неоправданно избыточные затраты факторов производства. В рамках данного исследования будем полагать, что период t , отраженный на рисунке, меньше календарного года или, по крайней мере, не больше 1 года. Это в целом подтверждается графиками рис. 2 и 3, на которых видно, что по связи затрат труда с добавленной стоимостью лагов практически нет, а по затратам капитала в некоторых точках реакция производителей на изменение спроса наблюдается лишь в следующем году (с лагом в 1 год).

Искомый третий фактор производства, связанный с созданием смарт-индустрии, должен отражать различные аспекты использования информационных технологий в производстве. Во-первых, данный показатель должен быть не экспертным, а статистическим, который измеряется по определенной неизменной

методике на протяжении многих лет; во-вторых, не должен быть синтетическим, то есть включать несколько других показателей, отражающих вклад различных аспектов информатизации; в-третьих, должен отражать определенные затраты предприятия на использование этого фактора. И если данный показатель прямо не измеряется в деньгах, то должен быть относительно легко в них переведен (как труд в человеко-часах). Поэтому абсолютно непригодными являются относительные показатели, например: процент сотрудников, регулярно использующих компьютер для работы в перерабатывающей промышленности, или процент сотрудников, использующих компьютер с доступом в интернет (эти показатели учитываются в Германии с 2005 г.). Некоторые из доступных показателей, несмотря на то, что они неплохо характеризуют определенные аспекты смарт-индустрии, также оказываются непригодными. Среди них можно назвать, например, процент компаний, осуществлявших анализ больших данных; процент компаний, приобретавших услуги облачных вычислений. Они не только не соответствуют предыдущему критерию, но и не имеют достаточного количества наблюдений (именно эти показатели начали измеряться в Германии только в 2016 г.); к тому же они никак не соотносятся с перерабатывающей промышленностью.

Затраты на компьютерную технику, средства коммуникации и т.п. также плохо подходят для отражения искомого фактора информатизации. Постоянное совершенствование компьютерной техники и цифрового оборудования приводит к удешевлению стоимости «информационного ресурса». То есть за одни и те же деньги в настоящий момент можно получить гораздо больше возможностей от цифровых технологий, чем раньше. А значит, не наблюдается сколько-нибудь существенного роста затрат на цифровое оборудова-

ние при том, что фактор информатизации с каждым годом существенно возрастает [14; 36].

Однако если предположить, что с использованием компьютерной техники и цифрового оборудования при развитии информационных технологий можно решать все новые и новые задачи (а именно это и является критерием роста информатизации) то, очевидно, должны возрасти затраты на разработку программного обеспечения. Более того, один и тот же компьютер можно использовать с разной эффективностью: как калькулятор, печатную машинку или как систему автоматизированного управления сложным производством, инженерную лабораторию по моделированию киберфизических систем. Стоимость аппаратного обеспечения при этом будет одинаковой, а вот соответствующего программного обеспечения может отличаться на порядки.

Таким образом, лучшим показателем для оценки информационного фактора производства из тех, которые предлагает статистика Германии, является стоимость компьютерного программного обеспечения и баз данных в перерабатывающей промышленности.

Выше обосновано, что в качестве эндогенной переменной в данном исследовании используется добавленная стоимость в перерабатывающей промышленности Германии (Y , млн. евро в ценах 2010 г.). В качестве экзогенных (факторов производства):

для труда – количество отработанных часов в перерабатывающей промышленности (L , млн ч);

для капитала – стоимость машин и оборудования в перерабатывающей промышленности (K , млн евро в ценах 2010 г.).

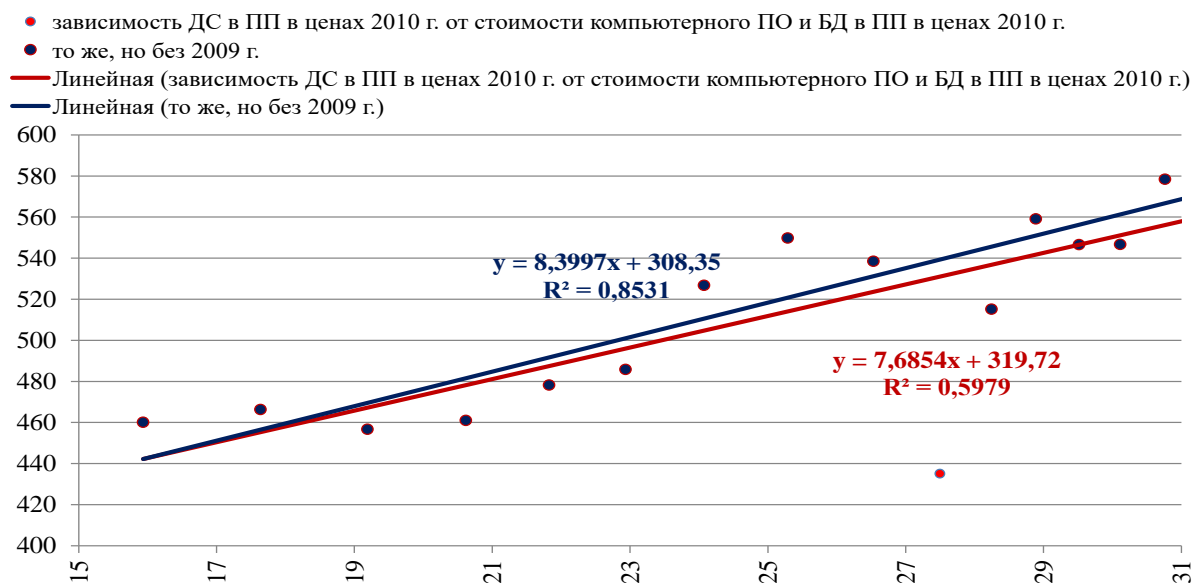
По обоим факторам производства наблюдается явный нисходящий тренд при том, что эндогенная переменная имеет тренд восходящий (см. рис. 1 и 2). Прямая

связь между факторами производства и выпуском продукции говорит о том, что при наличии общего тренда на снижение факторов производства выпуск продукции тоже должен был бы снижаться. Но поскольку де-факто он растет, это может значить лишь одно: на выпуск продукции действует еще минимум один очень значимый фактор, который имеет ярко выраженную растущую динамику. Как обосновано выше, лучшим смысловым показателем для оценки информационного фактора производства является стоимость компьютерного программного обеспечения и баз данных в перерабатывающей промышленности. На рис. 4 представлена зависимость добавленной стоимости от предлагаемого информационного фактора. Коэффициент корреляции составляет 0,77, что свидетельствует о сильной связи. Однако из рисунка очевидна аномальная точка, которая существенно влияет на оценку тесноты связи, – это точка, соответствующая 2009 г. Статистическая теория позволяет исключать подобные аномальные точки из исследования [1; 7; 16]. Таким фактором является кризис 2008-2009 гг., и его влияние существенно выше исследуемой зависимости. Если исключить точку 2009 г., то связь между добавленной стоимостью и стоимостью компьютерного программного обеспечения и баз данных окажется существенно более выраженной. Коэффициент корреляции составит 0,92.

За основу модели берется трехфакторная мультипликативная функция – аналог функции Кобба-Дугласа, только для трехфакторного случая:

$$\tilde{Y} = a_0 L^\alpha K^\beta J^\gamma, \quad (1)$$

где \tilde{Y} – модельные значения добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности; L, K, J – затраты факторов труда, капитала и информатизации соответственно.



Источник данных: рассчитано авторами.

Рис. 4. Статистическая связь добавленной стоимости в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г. и стоимости компьютерного программного обеспечения и баз данных в перерабатывающей промышленности в ценах 2010 г., млрд евро

Для нахождения параметров модели уменьшим размерность факторов в 1000 раз, после чего линеаризуем модель, прологарифмировав обе части равенства. Прямое решение этой линеаризованной задачи методом МНК [8] дает результат $\ln a_0 = 19,37$, $\alpha = 2,34$, $\beta = -3,52$, $\gamma = 0,51$, в котором все полученные коэффициенты статистически достоверны с надежностью не менее 95%, но который нельзя считать

приемлемым, поскольку капитал оказывает обратное влияние на добавленную стоимость, а значения параметров больше единицы плохо поддаются экономической интерпретации. Основные характеристики модели приведены в таблице. Возвращаясь к рис. 2 и принимая во внимание, что связь капитала с добавленной стоимостью проявляет себя с лагом в 1 год, учтем этот факт в модели.

Таблица
Характеристики трехфакторной мультипликативной модели производственной функции, учитывающей фактор информатизации¹

	Коэффициент	Статистическая ошибка	t-статистика	P-значение	Нижний доверительный интервал 95%	Верхний доверительный интервал 95%
$\ln a_0$	-5,3463	8,97105	-0,5959	0,5633	-25,0914	14,3988
α	1,7008	0,5962	2,8526	0,0157	0,3885	3,01311
β	0,9583	1,6597	0,5774	0,5753	-2,6946	4,6113
γ	0,6179	0,0979	6,3098	5,75824E-05	0,4024	0,8335

¹ Рассчитано авторами.

Полученная модель:

$$\tilde{Y} = 0,004766 \cdot L^{1,7} K^{0,96} J^{0,62} \quad (2)$$

Модель в целом статистически достоверна по критерию Фишера; множественный коэффициент корреляции составил 0,8938, а детерминации – 0,7989 соот-

ветственно. Все коэффициенты положительные, что отражает экономически корректную прямую связь между факторами производства и результирующей переменной. Относительная ошибка аппроксимации составила 3,21%, что свидетельствует об точности модели.

Однако следует отметить абсолютную ненадежность оценки влияния капитала, которая статистически незначимо отличается от нуля, а также ненадежную оценку параметра a_0 , который статистически незначимо отличается от 1 (при фактическом значении близком к нулю). Оценка влияния труда также вызывает недоверие: ее значение существенно превышает 1, и хотя она статистически значимо отличается от нуля, тем не менее 95-процентные доверительные интервалы для этой оценки лежат в очень широком диапазоне: от 0,39 (что вписывается в классическую модель Кобба-Дугласа с параметрами до 1) до 3,01, что интерпретировать экономически крайне проблематично. Не вызывает сомнения лишь качество оценки фактора информатизации: 95-процентные доверительные интервалы 0,40-0,83 говорят о надежной и устойчивой оценке влияния этого фактора на добавленную стоимость.

Для уточнения параметров данной модели в исходной задаче поиска оптимальных параметров α , β , γ введены ограничения на их значения в классическом диапазоне от 0 до 1; влияние капитала взято с лагом в 1 год; исключен 2009 год как аномальный. В итоге получена модель $a_0 = 0,962$, $\alpha = 0,716$, $\beta = 0,523$, $\gamma = 0,48$:

$$\tilde{Y} = 0,962 \cdot L^{0,716} K^{0,523} J^{0,48} \quad (3)$$

При этом $R^2 = 0,886$, а относительная ошибка составляет 2,33%.

Полученная производственная функция относится к классу неоклассических, обладающих набором определенных известных свойств [11]. В частности, она однородна, непрерывна, дважды дифференцируема; первые производные являются положительными функциями (что означает рост выпуска при увеличении затрат

факторов); вторые производные отрицательные (что обозначает уменьшение предельной производительности при увеличении затрат факторов); производство невозможно, если хотя бы один из факторов принимает нулевое значение.

Очевидными также являются выводы по эластичности выпуска по факторам производства. Для ПФ Кобба-Дугласа она совпадает с параметрами степеней соответствующих факторов

$$\varepsilon_L = \frac{\partial Y}{\partial L} : \frac{Y}{L} = a_0 \alpha \frac{K^\beta J^\gamma}{L^{1-\alpha}} \cdot \frac{L}{a_0 L^\alpha K^\beta J^\gamma} = \alpha.$$

Аналогично: $\varepsilon_K = \beta$, $\varepsilon_J = \gamma$. Таким образом, при увеличении труда на 1% выпуск увеличится на 0,716%, при увеличении на 1% стоимости машин и оборудования – на 0,52% и при увеличении на 1% стоимости компьютерного программного обеспечения и баз данных – на 0,48%.

В контексте изучения влияния на производство в условиях IV промышленной революции фактора информационного обеспечения особый интерес представляют вопросы возможного замещения этим фактором традиционных факторов производства (труда и капитала).

Одним из показателей, характеризующих возможность замещения двух факторов производства, является предельная норма технического замещения MRS. Рассмотрим предельную норму замещения информационным фактором труда и капитала

$$MRS_{LJ} = -\frac{dL}{dJ} = -\left(-\frac{\partial Y}{\partial J} / \frac{\partial Y}{\partial L}\right) =$$

$$= \frac{a_0 \gamma L^\alpha K^\beta J^{\gamma-1}}{a_0 \alpha L^{\alpha-1} K^\beta J^\gamma} = \frac{\gamma}{\alpha} \frac{L}{J} = 0,67 \frac{L}{J};$$

$$MRS_{KJ} = -\frac{dK}{dJ} = -\left(-\frac{\partial Y}{\partial J} / \frac{\partial Y}{\partial K}\right) =$$

$$= \frac{a_0 \gamma L^\alpha K^\beta J^{\gamma-1}}{a_0 \beta L^\alpha K^{\beta-1} J^\gamma} = \frac{\gamma}{\beta} \frac{K}{J} = 0,923 \frac{K}{J}.$$

Таким образом, в 2015 г., в котором затраты труда в перерабатывающей промышленности Германии составили 10,945

млрд ч, машин и оборудования – 3250,1 млрд евро, компьютерного ПО и БД – 31,44 млрд евро, предельная норма замещения информационным фактором труда составила $MRS_{LJ} = 0,233$; капитала – $MRS_{KJ} = 95,415$. То есть рост затрат на ПО и БД на 1 млн евро способен обеспечить замещение труда на 233 тыс. ч или затрат на машины и оборудование на 95,415 млн евро.

Если эффект от замещения капитала очевиден, то от замещения труда эффект также несложно посчитать. При среднечасовой оплате в Германии в 2015 г. по промышленности в 29,4 евро [27] получаем денежный эквивалент замещения труда в 6,850 млн евро. В условиях дешевого труда в Украине такого эффекта не будет. При среднемесячной зарплате в промышленности в 2015 г. 4791 грн [15], что эквивалентно приблизительно 1,24 евро в час, получили бы денежный эквивалент замещения труда всего в 0,285 млн евро. С другой стороны, затраты на собственные разработки ПО и БД в Украине будут существенно меньше, поэтому предельная норма замещения для Украины может оказаться совсем другой.

Безусловно, реальная картина не является такой оптимистичной, как в полученной модели. Во-первых, в модели учтены не все факторы производства. Капитал представлен только своей малой частью в виде машин и оборудования, при этом другие виды капитала (основные фонды, интеллектуальный капитал, связанный с владением патентами, технологиями и пр.) не учитываются вовсе. Существенную роль могут играть и другие факторы, которые способны препятствовать возможности такого эффективного замещения, полученного в модели. Во-вторых, рассматриваемые в модели факторы K и J в определенной степени взаимосвязаны и взаимозависимы. Более современное и дорогое оборудование требует больших затрат на разработку и поддержку ПО и БД. Это означает,

что увеличение затрат на ПО и БД в какой-то степени должно приводить к необходимости внедрения более новых машин и оборудования. Следовательно, полученный в модели эффект от замещения будет значительно меньше. Более сложное оборудование может требовать более квалифицированных специалистов или больших затрат труда на его обслуживание, что также снизит эффект от замещения труда. Эти взаимосвязи факторов L , K , J в модели не учтены.

Выводы

1. Становление нового производственного уклада, связанного с информационной революцией, использованием больших данных и развитием киберфизических систем, приводит к росту значения информационного фактора как ключевого фактора производства. Это свидетельствует о том, что научно-технический прогресс на данном этапе развития производства целесообразно учитывать в производственных функциях непосредственно через оценку некоего информационного фактора.

2. Объектом исследования выбрана перерабатывающая промышленность Германии как страны, в которой системно развивается смарт-промышленность. Обоснована целесообразность выбора в качестве экзогенной переменной модели производственной функции (представляющей собой модификацию модели Кобба-Дугласа) добавленной стоимости, созданной в перерабатывающей промышленности, а в качестве эндогенных факторов – стоимости машин и оборудования (капитал), отработанных часов (труд) и стоимости программного обеспечения (фактор информатизации).

3. В результате построения серии эконометрических моделей с разными начальными условиями и допущениями, наиболее адекватной с точки зрения качества аппроксимации и экономической интерпретации результатов выбрана функция Кобба-Дугласа с ограничениями на значения параметров факторов производства в

пределах от 0 до 1, исключенным выбросом аномального наблюдения в 2009 г. и учетом лага связи капитала с добавленной стоимостью в 1 год. Параметры модели достаточно устойчивы к изменению исходных данных и условий моделирования, что свидетельствует о достаточной релевантности модели.

4. Анализ полученной модели производственной функции позволил сделать ряд выводов: эластичность информационного фактора с добавленной стоимостью оказалась достаточно высокой и равной 0,48; предельная норма замещения информационным фактором труда и капитала на 2015 год составила 0,233 и 95,4, что при среднечасовой зарплате в перерабатывающей промышленности Германии в 29,4 евро, дает экономию труда в 6,85 млн. евро или затрат на машины и оборудование в 95,4 млн. евро на каждый миллион евро, вложенный в программное обеспечение и базы данных.

5. Доказанное существенное влияние на добавленную стоимость показателя информатизации в виде стоимости ПО и БД позволяет выдвинуть гипотезу о возможности построения соответствующих моделей производственных функций и для экономики Украины, в частности для перерабатывающей промышленности и ее отдельных отраслей, что может составить предмет дальнейших исследований в этой сфере. Анализ таких моделей позволит более точно определить степень влияния фактора информатизации на экономику Украины, даст более точную оценку эффективности первоочередного внедрения смарт-предприятий в тех или иных отраслях.

6. Показатель информатизации в виде стоимости ПО и БД может быть положен в основу разработки критериев оценки уровня «смартизации» предприятий на микроуровне, их сетей и/или кластеров. Это позволит оценить объем необходимых инвестиций для перехода этих предприятий на новый уровень производственных

отношений, связанный с IV промышленной революцией.

Литература

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. *Прикладная статистика и основы эконометрики*: учебник для вузов: в 2-х т. Т. 1 – Теория вероятностей и прикладная статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 656 с.
2. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. *Прикладная статистика и основы эконометрики*: учебник для вузов: в 2-х т. Т. 1 – Теория вероятностей и прикладная статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 432 с.
3. Бакаев О. О., Гриценко В. І., Бажан Л. І. та ін. *Економіко-математичні моделі економічного зростання*. К.: Наук. думка, 2005. 189 с.
4. Баранов Э. Ф. Об измерении индексов-дефляторов по отраслям экономики и промышленности. *Экономический журнал ВШЭ*. 2002. №2. С. 217-224.
5. Бессонов В. А., Цухло С. В. *Анализ экономической динамики российской переходной экономики*: науч. труды. М.: ИЭПП, 2002. № 42. 186 с.
6. Блауг М. *Экономическая мысль в ретроспективе = Economic Theory in Retrospect*. М.: Дело, 1994. 627 с.
7. Бокс Дж., Дженкинс Г. *Анализ временных рядов: прогноз и управление*. Пер. с англ. А.Л. Левшина; под ред. В.Ф. Писаренко. М.: Мир, 1974. Вып. 2. 406 с.
8. Грубер Й. *Эконометрия*. Т. 1. Введение в эконометрию. Киев: Астарта, 1996. – 397 с.
9. Джонстон Дж. *Эконометрические методы*; пер. с англ. М.: Статистика, 1980. 444 с.
10. Зоркальцев В. И. *Индексы цен и инфляционные процессы*. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 279 с.
11. Казакова М. В. *Анализ свойств производственных функций, используемых при декомпозиции экономического роста*. М.: РАНХиГС, 2013. 48 с.
12. Кондратьев Н. Д. *Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения*. Из-

бранные труды» Международного фонда Н.Д. Кондратьева; ред. кол. Абалкин Л. И. (пред.) и др.; сост. Яковец Ю. В. М.: Экономика, 2002. 767 с.

13. Оппенлендер К. *Технический прогресс. Воздействие. Оценки. Результаты*. М.: Экономика. 1981. 176 с.

14. Платонов В. В. «Парадокс Солоу» двадцать лет спустя, или об исследовании влияния инноваций в информационных технологиях на рост. *Финансы и бизнес*. 2007. № 3. С. 28-38.

15. Середньомісячна заробітна плата за видами економічної діяльності за період з початку року у 2015 році. *Укрстат*, 2018. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2015/gdn/Zarp_ek_p/zpp2015_u.htm

16. Суслов И. П. *Основы теории достоверности статистических показателей*. Отв. ред. К. К. Вальтух; ИЭОПП СО АН СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1979. 304 с.

17. Сухоруков А. І., Харазішвілі Ю. М. *Модельовання та прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України*: монографія. К.: НІСД, 2012. 368 с.

18. Тинберген Я., Босс Х. *Математические модели экономического роста*. М.: Прогресс, 1967. 176 с.

19. Фишер Ф. *Проблема идентификации в эконометрии*. М.: Статистика, 1978. 223 с.

20. Arrow K. J. The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*. 1962. Vol. 29, No. 3. pp. 155-173. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2295952>

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

22. Douglas P. *The Cobb-Douglas Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values*. *The Journal of Political Economy*. 1976. Vol. 84, No. 5. pp. 903-916. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/260489>

23. *Euro Area Labour Markets and the Crisis*. Task Force of the Monetary Policy Committee of the European System of Central Banks. Frankfurt on Main: European Central Bank, 2012. 122 p.

24. *Fixed assets by activity and by asset, ISIC rev 4*. OECD, 2018. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE9A

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

26. *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>

27. *Labour cost levels by NACE. Rev. 2 activity*. Eurostat, 2018. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/labour-market/labour-costs/database#>

28. *Labour input by activity, ISIC rev 4*. OECD, 2018. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE7A

29. Lucas R. On the Mechanism of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*. 1988. Vol. 22. P. 3-42.

30. 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>

31. Mankiv G.A., Romer D., Weil D. Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*. – 1992. – Vol. 107 (2). – P. 407-437.

32. Mossfeldt M., Österholm P. *The Persistent Labour-Market Effects of the Financial Crisis*. Stockholm: National Institute of Economic Research, 2010.

33. O'Mahony M., Vecchi M. *Is there an ICT impact on TFP? A heterogeneous dynamic panel approach*. NIESR Discussion Paper. 2003. No. 219. pp. 62-88

34. Ranis G. Analytics of Development: Dualism. *Handbook of Development Economics*: Vol. 1. Amsterdam: North Holland, 1988. – 882 p.

35. 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>

36. Triplett J. The Solow Productivity Paradox: What do Computers do to Productivity? *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique*. 1999. Vol. 32. No. 2. Special Issue on Service Sector Productivity and the Productivity Paradox. pp. 309-334. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/136425>

37. Value added and its components by activity, ISIC rev4. *OECD*, 2018. URL: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE6A

38. Wiśniewski J., Wiśniewski Z. *The Purchasing Power Parity: Theory and Evidence*. Warsaw: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 76 p.

References

1. Ajvazjan, S. A., & Mhitarjan, V. S. (2001). *Applied Statistics and the Basics of Econometrics*: Vol. 1. Moscow: JUNITIDANA [in Russian]

2. Ajvazjan, S. A., & Mhitarjan, V. S. (2001). *Applied Statistics and the Basics of Econometrics*. Vol. 2. Moscow: JUNITIDANA [in Russian]

3. Bakaev, O. O., Gricenko, V. I., Bazhan, L. I. et al. (2005). *Economic and Mathematical Models of Economic Growth*. Kiev: Naukova Dumka [in Ukrainian].

4. Baranov, E. F. (2002). *On the Measurement of Indices-Deflators by Sectors of the Economy and Industry*. *HSE Economic Journal*, 2, pp. 217-224. [In Russian]

5. Bessonov, V. A., & Cuhlo, S. V. (2002). *Analysis of the Economic Dynamics of the Russian Transition Economy*: Scientific Works. Moscow: IEPP. [in Russian]

6. Blaug, M. (1994). *Economic Thought in the Retrospective*. Moscow: Delo [In Russian]

7. Box, J., & Jenkins, G. (1974). *Time Series Analysis: Forecasting and Management*. Iss. 2. Moscow: Mir [In Russian]

8. Gruber, J. (1996). *Econometrics*. (Vol. 1) *Introduction to Econometrics*. Kiev: Astarta [In Russian].

9. Johnston, J. (1980). *Econometric Methods*. Moscow: Statistika [In Russian].

10. Zorkal'cev, V. I. (1996). *Price Indices and Inflation Processes*. Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing House of the RAS [In Russian].

11. Kazakova, M. V. (2013). *Analysis of the Properties of Production Functions Used In The Decomposition Of Economic Growth*. Moscow: Russian Academy of National Economy and Public Administration. [In Russian]

12. Kondrat'ev, N. D. (2002). *Large Cycles of Conjunction and Theory of Foresight: Selected Works*. Moscow: Ekonomika [In Russian].

13. Oppenlender, K. (1981). *Technical Progress. Impact. Estimates. Results*. Moscow: Ekonomika [In Russian].

14. Platonov, V. V. (2007). "The Solow Paradox" Twenty Years Later, or on the Study of the Impact of Innovation in Information Technology on Growth. *Finance and Business*, 3, pp. 28-38. [In Russian]

15. Ukrstat (2015). *Average Monthly Salary by Types of Economic Activity, Year to Date, in 2015*. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2015/gdn/Zarp_ek_p/zpp2015_u.htm

16. Suslov, I. P. (1979). *Fundamentals of the Theory of Reliability of Statistical Indicators*. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch [In Russian].

17. Suhorukov, A. I., & Harazishvili, Yu. M. (2012). *Modeling and Forecasting of Social and Economic Development of the Regions of Ukraine*: Monograph. Kiev: National Institute for Strategic Studies [In Russian].

18. Tinbergen, J., & Boss, H. (1967). *Mathematic Models of Economic Growth*. Moscow: Progress [In Russian].
19. Fisher, F. (1978). *The Problem of Identification in Econometrics*. Moscow: Statistika [In Russian].
20. Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 3(29), pp. 155-173. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2295952>
21. Digitale Wirtschaft und Gesellschaft (2018). *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. Retrieved from <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>.
22. 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>
23. Euro Area Labour Markets and the Crisis (2012). *Task Force of the Monetary Policy Committee of the European System of Central Banks*. Frankfurt on Main: European Central Bank.
24. OECD (2018). *Fixed assets by activity and by asset, ISIC rev4*. Retrieved from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE9A
25. 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.
26. 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>
27. Eurostat (2018). *Labour cost levels by NACE Rev. 2 activity* Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/web/labour-market/labour-costs/database#>
28. OECD (2018). *Labour input by activity, ISIC rev4*. Retrieved from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE7A
29. Lucas, R. (1988). On the Mechanism of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.
30. 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: <http://doi.org/10.15407/econindustry2017.04.019>
31. Mankiv, G. A., Romer, D., & Weil, D. (1992). Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107 (2), pp. 407-437.
32. Mossfeldt, M., & Österholm, P. (2010). *The Persistent Labour-Market Effects of the Financial Crisis*. Stockholm: National Institute of Economic Research.
33. O'Mahony, M., & Vecchi, M. (2003). *Is there an ICT impact on TFP? A heterogeneous dynamic panel approach*. NIESR Discussion Paper, 219, pp. 62-88.
34. Ranis, G. (1988). *Analytics of Development: Dualism*. Handbook of Development Economics: Vol. 1. Amsterdam: North Holland.
35. 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>
36. Triplett, J. (1999). The Solow Productivity Paradox: What do Computers do to Productivity? *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique*, 2(32), Special Issue on Service Sector Productivity and the Productivity Paradox, pp. 309-334. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/136425>
37. OECD (2018). *Value added and its components by activity, ISIC rev4*. Retrieved from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SNA_TABLE6A
38. Wiśniewski, J., & Wiśniewski, Z. (2014). *The Purchasing Power Parity: Theory and Evidence*. Warsaw: LAP LAMBERT Academic Publishing.

Артем Анатолійович Мадих,

канд. екон. наук

E-mail: artem.madykh@gmail.com;

Олексій Олександрович Охтен,

канд. екон. наук

Інститут економіки промисловості НАН України

03057, Україна, Київ, вул. Желябова, 2.

E-mail: aokhten@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВПЛИВУ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ НА ЕКОНОМІКУ В ПРОЦЕСІ СТАНОВЛЕННЯ СМАРТ-ПРОМИСЛОВОСТІ

Здійснено ідентифікацію фактора виробництва, пов'язаного зі смарт-індустріалізацією, і на прикладі переробної промисловості Німеччини як країни, в якій на державному рівні проголошена та реалізується програма розвитку «Промисловість 4.0», виконано моделювання відповідної виробничої функції. Аргументовано, що існуючі підходи до врахування науково-технічного прогресу при побудові виробничих функцій не підходять для моделювання трансформації впливу виробничих факторів у процесі становлення смарт-промисловості, оскільки науково-технічний прогрес у більшості робіт представлений не конкретним вимірюваним показником, а просто натуральним рядом чисел, який відображає ту частину зміни виробництва, що не пояснюється зміною факторів, які враховуються. Встановлено, що в переробній промисловості Німеччини в умовах зниження витрат праці та капіталу випуск продукції зростає, що свідчить про вплив ще як мінімум одного фактора, пов'язаного з переходом до нового технологічного укладу – смарт-промисловості. Ідентифіковано труднощі оцінки впливу смарт-фактора на виробництво – як об'єктивні (взаємозалежність факторів інформатизації та складність виділення внеску кожного з них), так і суб'єктивні (повна відсутність або фрагментарність статистичної інформації). На основі аналізу статистики встановлено, що найбільш точним показником, який відображає вплив на виробництво фактора інформатизації, виступає вартість програмного забезпечення і баз даних (ПЗ і БД). Побудовано модель, що являє собою адаптацію моделі Кобба-Дугласа, в якій як ендогенна змінна використовується додана вартість у переробній промисловості, а як екзогенні – кількість відпрацьованих годин (фактор праці), вартість машин і устаткування з лагом в 1 рік (фактор капіталу) і вартість ПЗ і БД (фактор інформатизації). Аналіз результатів моделювання дозволив установити, що інформатизація перетворилася на найважливіший фактор виробництва і демонструє потенціал до заміщення інших факторів виробництва – праці та капіталу. Модель може використовуватися для обґрунтування напрямів розвитку смарт-промисловості на макrorівні, а також може бути покладена в основу розробки критеріїв оцінки рівня «смартизації» підприємств.

Ключові слова: виробнича функція, Німеччина, переробна промисловість, смарт-підприємства, економіко-математичне моделювання.

JEL: C67, O30, O40, L60

Artem A. Madykh,

PhD in Economics

E-mail: artem.madykh@gmail.com;

Oleksiy O. Okhten,

PhD in Economics

Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine

03057, Ukraine, Kyiv, 2 Gelabov Str.

E-mail: aokhten@gmail.com

MODELING THE TRANSFORMATION OF THE IMPACT OF PRODUCTION FACTORS ON THE ECONOMY IN THE PROCESS OF SMART INDUSTRY FORMATION

The article identifies the factor of production, associated with smart industrialization, and provides modeling results of the corresponding production function on the example of manufacturing industry in Germany, as a country where the "Industry 4.0" development program has been announced and is being implemented at a nationwide level.

It is argued that the existing approaches that takes into account scientific and technological progress within the design of production functions are not suitable for modeling the transformation of the impact of production factors in the process of smart industry formation, since scientific and technological progress in most papers is represented not by a specific measurable indicator, but simply by a natural series of numbers, reflecting the part of the change in production that is not explained by changes in the factors considered. It has been found that in German manufacturing industry output is growing while labor and capital expenditure decreases, which indicates the influence of at least one more factor related to the transition to the new technological mode – the smart industry.

The difficulties of assessing the impact of the "smart factor" on production have been identified: both objective (the interdependence of computerization factors and the difficulty of distinguishing the contribution of each of them) and subjective (complete absence or fragmented statistical information). Based on the analysis of statistics, it has been found that the costs of software and databases are the most accurate indicator, reflecting the impact of the computerization factor on the output. A model, that is a modification of the Cobb-Douglas production function, has been designed, in which the added value in the processing industry is used as the endogenous variable, and the number of hours worked (labor factor), the cost of machinery and equipment with a 1 year lag (capital factor) and the cost of software and databases (computerization factor) are the exogenous factors. When analyzing the modeling results, authors found that computerization has turned into an important production factor and demonstrates the potential to replace other factors of production – labor and capital. The model can be used to substantiate the directions of smart industry development at the macro level, as well as the basis for developing criteria for assessing the level of enterprise "smartness" at the micro level.

Key words: production function, Germany, manufacturing, smart enterprises, economic and mathematical modeling.

JEL: C67, O30, O40, L60

Форматы цитирования:

Мадых А.А., Охтен 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>

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>

Представлена в редакцию 29.09.2018 г.