

Отраслевая экономика

СОВОКУПНАЯ ФАКТОРНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ: ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Виктор МАЛЕИН, Юрий ПОНОМАРЕВ

Виктор Михайлович Малейн — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории инфраструктурных и пространственных исследований Института исследований отраслевых рынков и инфраструктуры, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82).
E-mail: malein-vm@ranepa.ru

Юрий Юрьевич Пономарев — кандидат экономических наук, заведующий лабораторией инфраструктурных и пространственных исследований Института исследований отраслевых рынков и инфраструктуры, РАНХиГС (РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82); старший научный сотрудник лаборатории исследований отраслевых рынков и инфраструктуры, Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара (РФ, 125993, Москва, Газетный пер., 3–5).
E-mail: ponomarev@ranepa.ru

Аннотация

Выявление положительных условий для структурной трансформации отраслей в российской экономике и формирование научно обоснованной базы для разработки практических рекомендаций по проведению промышленной политики крайне важны для выполнения национальных целей и задач, зафиксированных в Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204. С начала 2000-х годов до настоящего времени в российской металлургической отрасли продолжался постепенный переход от традиционного способа выплавки стали в мартеновских печах к более прогрессивной электроплавильной технологии. В статье проведен анализ влияния разных факторов на переход компаний металлургической отрасли к новым технологиям, а также проанализировано влияние смены технологии на общую факторную производительность металлургических предприятий и форму производственной функции в отрасли за период 2008–2017 годов. Результаты показывают, что переход к новой технологии сопровождался ростом общей факторной производительности на 24–28%, а также изменением параметров производственной функции, в частности снижением трудоемкости и материалоемкости производства, что согласуется с результатами других работ, исследующих влияние перехода к более прогрессивной технологии на факторные эластичности выпуска. Анализ факторов, влияющих на вероятность перехода к новой технологии, в целом подтвердил сформулированные гипотезы: процесс консолидации активов металлургической отрасли, их объединения под управлением холдинговой компании в 2000-е годы сопровождался технологическим переоснащением производства, строительством новых мощностей. Предприятия, входящие в состав единой финансово-промышленной группы, обладающие более высокой производительностью и доступом к мировому рынку, характеризуются более высокой вероятностью перехода к новой технологии. Кроме того, оценки вероятности перехода к новой технологии выше для предприятий с более высоким уровнем производительности.

Ключевые слова: металлургия, совокупная факторная производительность, технологические изменения.

JEL: D24, L23, M11, O33.

Введение

Для обеспечения устойчивого экономического роста и выполнения задачи по попаданию в пятерку крупнейших экономик мира, поставленной в Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 (далее — Указ), необходима не только макроэкономическая стабилизация, но и ускоренное технологическое развитие. Повышение производительности труда в отдельных отраслях и в целом в российской экономике является одной из ключевых задач национальных проектов, реализуемых для выполнения Указа. Поэтому выявление положительных условий для структурной трансформации отраслей в российской экономике и формирование научно обоснованной базы для разработки практических рекомендаций по проведению промышленной политики приобретают высокую актуальность. В настоящей статье на примере металлургической отрасли России (здесь и далее мы подразумеваем только черную металлургию) проводится оценка влияния перехода к новой технологии (плавке металлов с использованием электродуговых печей) на совокупную факторную производительность (СФП) и производственную функцию в отрасли, анализируются факторы, оказывающие влияние на переход к новой технологии компаний металлургической отрасли.

1. Металлургия в России и в мире: есть ли эффект от новых технологий?

Черная металлургия в России традиционно относится к числу наиболее значимых отраслей промышленного производства. Металлургические предприятия являются поставщиками продукции для судостроения, авиации, транспортного и тяжелого машиностроения, военно-промышленного комплекса, железнодорожного транспорта и др. В 2015 году доля черной металлургии в ВВП оценивалась в 1,4%, доля в общем объеме промышленного производства — в 8% и в экспорте — в 6% [Ревинская, 2015]. В то же время черная металлургия являлась важнейшим потребителем сырья и энергии, предъявляя спрос на 5,3% общего объема электроэнергии и 5,8% — природного газа. Доля отрасли в общем объеме грузовых железнодорожных перевозок составляла 15% [Ревинская, 2015]. К настоящему времени Россия входит в число ведущих мировых производителей стали (рис. 1). Ряд российских металлургических предприятий (НЛМК, ЕВРАЗ, ММК, «Северсталь») входит в список пятидесяти крупнейших сталеплавильных предприятий в мире (табл. 1).



Источник: worldsteel.org (World Crude Steel Production — Summary, 2018. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:371e31b5-7866-4c27-bffd-72f25946858c/2017+World+Crude+Steel+Production+Press+Release+Attachment.pdf>).

Рис. 1. Доля России в мировом производстве стали, 2017 год

Т а б л и ц а 1

Крупнейшие компании — производители стали в мире

| Предприятие | Ранг | Страна | Объем выплавки стали (млн тонн) |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------------------------|
| <i>ArcelorMittal</i> | 1 | Индия | 97,03 |
| <i>China Baowu Group</i> | 2 | Китай | 65,39 |
| <i>NSSMC Group</i> | 3 | Япония | 47,36 |
| <i>HBIS Group</i> | 4 | Китай | 45,56 |
| <i>POSCO</i> | 5 | Южная Корея | 42,19 |
| <i>Shagang Group</i> | 6 | Китай | 38,35 |
| <i>Ansteel Group</i> | 7 | Китай | 35,76 |
| <i>JFE Steel</i> | 8 | Япония | 30,15 |
| <i>Shougang Group</i> | 9 | Китай | 27,63 |
| <i>Tata Steel Group</i> | 10 | Индия | 25,11 |
| НЛМК | 17 | Россия | 17,08 |
| ЕВРАЗ | 28 | Россия | 14,03 |
| ММК | 30 | Россия | 12,86 |
| «Северсталь» | 34 | Россия | 11,65 |

Источник: составлено авторами на основе данных компаний, а также обзора Deloitte (Обзор рынка черной металлургии — первая половина 2018. Deloitte, 2018. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/overview-of-the-steel-and-iron-market-ru.pdf>).

Одной из особенностей развития металлургической отрасли в России в 2000-е годы стала реализация масштабных инвестиционных программ по внедрению современных технологий произ-

водства. В частности, многими предприятиями¹ был осуществлен переход от традиционной технологии выплавки в мартеновских печах к использованию электродуговых плавильных печей и кислородно-конвертерного способа. Несмотря на то что первая дуговая сталеплавильная печь была построена еще в 1899 году французским инженером Полем Эру, массовое внедрение этой технологии в индустриально развитых странах мира относится ко второй половине XX века. В России эта технология была апробирована в советский период и в дальнейшем применялась наряду с кислородно-конвертерным и мартеновским способами выплавки. С начала 2000-х годов по настоящее время российские предприятия осуществили техническое переоснащение сталеплавильного производства, отказавшись от мартеновской технологии².

Существующие эмпирические исследования влияния технологических шоков на совокупную факторную производительность показывают значимый положительный эффект на рост как производительности, так и совокупного выпуска. В работе [Collard-Wexler, De Loecker, 2015] оценивается влияние технологических изменений в металлургической отрасли (использование малогабаритных фрезерных станков “minimill”) на общую факторную производительность и структурные изменения в отрасли. Используя микроданные за период с 1963 по 2002 годы, авторы показали, что распространение новой технологии привело к росту производительности в отрасли за счет действия двух эффектов:

- прямой эффект от замещения менее производительной технологии более современной и эффективной (объясняет $\frac{1}{3}$ общего прироста производительности);
- косвенный эффект, обусловленный ростом конкуренции в отрасли и вытеснением наименее эффективных производителей, использующих традиционную технологию.

Таким образом, появление новой технологии может приводить к усилению конкуренции и перераспределению рыночной доли в пользу наиболее эффективных производителей. Причем количественно этот эффект превышает прямой эффект от замещения менее эффективной традиционной технологии.

¹ Например, Объединенная металлургическая компания на предприятиях в Хабаровском крае (1996) и Челябинской области (2010).

² Например, ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» на предприятии в Свердловской области (2002–2004), Объединенная металлургическая компания на предприятии в Пермском крае (2014). Последний действующий мартеновский цех был закрыт на Выксунском металлургическом заводе 23 марта 2018 года. См. подробнее: https://omk.ru/vmz/publications/17023/?back_url_list=vmz/.

В работе [Nakamura, Ohashi, 2008] исследовалось влияние перехода японских сталеплавильных предприятий на использование кислородно-конвертерного метода вместо традиционной технологии выплавки в мартеновских печах. Исследование охватывало период с 1957 по 1968 годы — в течение этого времени доля выпуска предприятий, использующих новую технологию, увеличилась с 4 до 87,8%. В работе показано, что переход японских сталеплавильных предприятий на кислородно-конвертерный способ выплавки привел к увеличению общей факторной производительности на 30%, вклад новой технологии в увеличение общего объема выпуска оценивается в 14%. Показано также, что предприятия, достигшие пика производительности в рамках мартеновской технологии, характеризовались более высокой вероятностью перехода к новой технологии выплавки. При этом переход к ней приводил к снижению производительности в течение первых двух лет использования с ее последующим резким скачком. Полученный результат выявил наличие издержек адаптации персонала к новой технологии: по мере накопления опыта (*learning by doing effect*) предприятия смогли в полной мере реализовать преимущества новой технологии.

В рамках настоящего исследования также представляют интерес работы, содержащие анализ факторов, которые влияют на переход к новой технологии. Например, в работе [Caselli, 1999] обосновывается положительная связь между производительностью и стимулами перехода к новой технологии. Более производительные предприятия, как правило, характеризуются более высоким уровнем компетенций (человеческого капитала) работников, что ведет к снижению адаптационных издержек предприятий при смене производственной технологии. В работе [Jovanovic, Nyarko, 1994] обосновывается альтернативная гипотеза: менее продуктивные фирмы характеризуются большей вероятностью смены технологии, поскольку такая смена связана для них с меньшими издержками — они осуществляют меньше специфических инвестиций в традиционную технологию.

На сегодня отсутствуют работы, посвященные анализу общей факторной производительности российских металлургических предприятий. Вместе с тем такой анализ позволил бы оценить не только итоги технологических (отказ от традиционной мартеновской технологии) и структурных (консолидация активов под управлением финансово-промышленных групп (ФПГ)) изменений в отрасли, но и выработать практические рекомендации государственной политики развития металлургического комплекса в России.

Настоящая статья имеет следующую структуру. В первом разделе характеризуется актуальность выбранной темы, дается характеристика результатов, полученных в литературе. Второй раздел

посвящен описанию базы данных исследования. В третьем сформулированы гипотезы исследования, обсуждаются методы эконометрического оценивания. В четвертом дана характеристика полученных результатов. Наконец, в заключении сформулированы основные выводы исследования, рекомендации для государственной политики и направления для последующих исследований.

2. Описание базы данных

Для оценки влияния перехода российских металлургических предприятий на новую технологию плавки (использование электродуговых печей) на общую факторную производительность и производственную функцию была сформирована база данных по 39 предприятиям (на уровне отдельных заводов) российской металлургической отрасли, имеющим собственное сталеплавильное производство, охватывающая период с 2006 по 2017 годы³ и включающая следующие показатели (на основе данных бухгалтерской отчетности):

- объем выпуска предприятия в стоимостном выражении (тыс. долл.) за период (год);
- стоимость основных средств предприятия (тыс. долл.) за период (год);
- среднесписочная численность занятых (чел.) за период (год);
- объем долгосрочных финансовых инвестиций (тыс. долл.)⁴ за период (год);
- совокупная стоимость сырья и материалов, используемых в производственном процессе (тыс. долл.), за период (год);
- индикатор используемой сталеплавильной технологии⁵;
- дефлятор выпуска.

Поскольку исследуемые предприятия металлургической отрасли не являются гомогенными, их продукция дифференцирована, и, следовательно, цены на продукцию различаются — это может вносить искажения в полученные оценки. Для корректировки возможных искажений в оценках были построены ценовые дефляторы. Для расчета дефлятора выпуска все предприятия выборки были

³ Для сбора данных по российским предприятиям использовалась информация сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

⁴ На основе данных бухгалтерской отчетности — совокупность доходных вложений в материальные ценности и финансовых вложений за рассматриваемый период (год).

⁵ Бинарная переменная, принимающая значение 1, если предприятие использует электроплавильную технологию в данном периоде наблюдения, и 0 — если иначе. При построении переменной-индикатора применяемой технологии использовалась общедоступная информация, размещенная на официальном сайте предприятия и в тексте отчетных документов.

разбиты на подгруппы в соответствии с основным видом выпускаемой продукции (прокат, стальные трубы, чугун и др.). Для каждой группы предприятий был рассчитан отдельный показатель дефлятора на основе среднегодовых цен по каждому виду продукции, предоставленных Росстатом. Таким образом, данные о стоимостных объемах производства и дефляторы цен позволили построить индексы объемов производства в постоянных ценах, то есть провести анализ изменения объемов выпуска в реальном выражении.

Для анализа влияния смены технологии на производительность была построена переменная-индикатор (дамми) *electroplav*, отражающая период (год), в котором предприятие осуществило переход от мартеновской технологии к использованию электродуговых печей⁶, то есть для каждого предприятия, осуществившего такой переход, переменная *electroplav* принимает значение 0 до перехода к новой технологии и значение 1 в год смены технологии и во все последующие в рамках рассматриваемого периода. Обобщающая статистика по основным переменным и матрица корреляций представлены в табл. 2 и 3.

Т а б л и ц а 2

Описательная статистика по переменным в выборке

| Переменные в логарифмах | Число наблюдений | Среднее | Статистическое отклонение | Минимум | Максимум |
|---|------------------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
| Выпуск (тыс. долл.) | 311 | 12,890 | 1,710 | 6,310 | 16,780 |
| Выпуск (тыс. тонн) | 311 | 6,370 | 1,672 | 0,620 | 10,247 |
| Основные фонды (тыс. долл.) | 311 | 12,525 | 1,875 | 7,172 | 16,433 |
| Среднесписочная численность занятых (чел.) | 269 | 7,118 | 1,830 | 1,386 | 10,050 |
| Инвестиции (тыс. долл.) | 312 | 7,127 | 4,955 | 0 | 15,762 |
| Индикатор электроплавильной технологии (<i>electroplav</i>) | 344 | 0,694 | 0,461 | 0 | 1 |
| Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | 284 | 12,339 | 2,173 | 0 | 15,798 |
| Дефлятор выпуска | 344 | 27 173,23 | 12 779,19 | 12 188,57 | 76 788,50 |
| Число предприятий (ID) в выборке | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |

Источник: информация сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

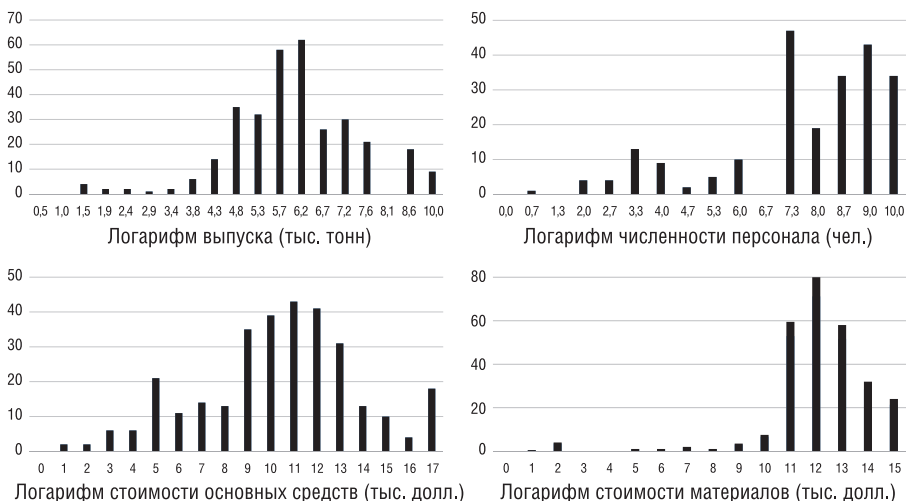
⁶ К сожалению, имеющиеся данные не позволяют оценить долю продукции, выпускаемой с использованием технологий различного типа (процесс замещения технологий мог происходить постепенно, однако в рамках нашего анализа такая возможность не учитывается).

Т а б л и ц а 3

Корреляционная матрица переменных выборки

| Переменные в логарифмах | Выпуск (тыс. тонн) | Основные фонды (тыс. долл.) | Среднесписочная численность занятых (чел.) | Инвестиции (тыс. долл.) | Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | Индикатор электроплавильной технологии |
|--|--------------------|-----------------------------|--|-------------------------|---|--|
| Выпуск (тыс. тонн) | 1,0000 | | | | | |
| Основные фонды (тыс. долл.) | 0,7094 | 1,0000 | | | | |
| Среднесписочная численность занятых (чел.) | 0,5417 | 0,3918 | 1,0000 | | | |
| Инвестиции (тыс. долл.) | 0,6019 | 0,6177 | 0,4938 | 1,0000 | | |
| Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | 0,6196 | 0,3792 | 0,5790 | 0,4127 | 1,0000 | |
| Индикатор электроплавильной технологии | 0,2224 | 0,1145 | 0,0299 | 0,2801 | 0,2282 | 1,0000 |

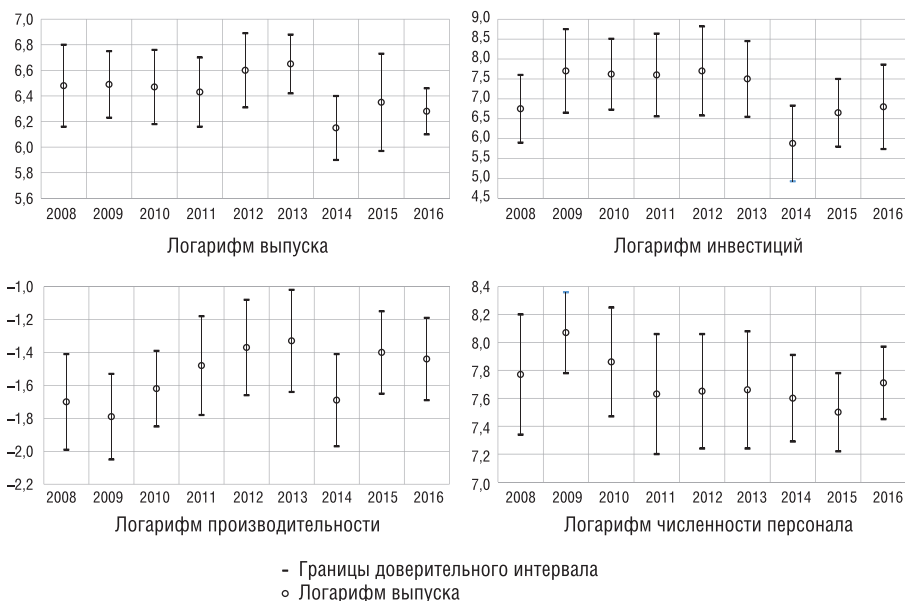
Источник: информация сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).



Источник: информация сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Рис. 2. Диаграммы распределения логарифмов выпуска, капитала, инвестиций и трудовых ресурсов предприятий выборки

Отметим, что значения корреляционных коэффициентов имеют ожидаемый знак и значения. Индикатор электроплавильной технологии положительно коррелирован с объемом выпуска, инвестициями и производительностью труда.



Источник: информация сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Рис. 3. Динамика средних значений логарифма выпуска, инвестиций, численности занятых и производительности труда по предприятиям выборки

Распределение значений капитала, трудовых ресурсов, выпуска и инвестиций предприятий показано на рис. 2. Динамика среднего объема выпуска, инвестиций и производительности труда предприятий в выборке показывает (рис. 3), что после падения производства и объема инвестиций в 2013–2014 годах наметились стабилизация и тенденция к восстановительному росту. Следует отметить тренд на рост производительности труда в отрасли начиная с 2008 года, а также постепенное сокращение среднего числа занятых на предприятиях в рамках рассматриваемого периода.

3. Методология исследования

Оценка влияния перехода российских металлургических предприятий на новую технологию плавки (использование электродуговых печей) на изменение параметров и вида производственной функции проводилась в два этапа. На первом этапе авторами была сделана оценка производственной функции предприятий в отрасли. В качестве основной эконометрической спецификации рассматривалась производственная функция вида Кобба — Дугласа:

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta} L_{it}^{\alpha}, \quad (1)$$

где Y_{it} — выпуск фирмы i в период t ; K_{it} и L_{it} — объем капитала фирмы i и среднесписочной численности ее работников в период t

соответственно; A_{it} — совокупная факторная производительность фирмы i в период t ; α и β — фиксированные коэффициенты, отражающие отдачу от факторов.

Далее, логарифмируя обе части зависимости, можно получить:

$$y_{it} = \beta \cdot k_{it} + \alpha \cdot l_{it} + \gamma \cdot electroplav_{it-1} + \omega_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

где y_{it} — натуральный логарифм выпуска предприятия i в период t ; k_{it} , l_{it} — логарифм стоимости основного капитала фирмы i и среднесписочной численности ее работников в период t ; $electroplav_{it-1}$ — индикатор перехода фирмы на новую технологию в предыдущем периоде; $\ln(A_{it}) = \omega_{it} + \varepsilon_{it}$; ω_{it} — наблюдаемая фирмой часть общей факторной производительности и ε_{it} — случайный ненаблюдаемый шок производительности, отражающий ее неожиданное случайное изменение под действием экзогенных факторов⁷ и распределенный по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2)$.

Основной методологической проблемой в оценивании уравнений такого типа является ненаблюдаемость для исследователя технологического шока ε_{it} . Поскольку фирмы наблюдают значение ω_{it} , это влияет на их решение об объеме используемого фактора, что следует из условия первого порядка в задаче фирмы:

$$L_{it} = \left(\frac{p}{w} \alpha A_{it} K_{it}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}, \quad (3)$$

где переменные A_{it} , K_{it} , L_{it} были определены выше; p — цена продукции фирмы i ; w — величина заработной платы работников фирмы i ; α — эластичность выпуска по труду.

В результате оценки коэффициентов эластичности, полученные с помощью метода наименьших квадратов (МНК), оказываются смещенными. Наиболее простым способом решения проблемы является использование панельных методов проведения эконометрических оценок, то есть включения фиксированных эффектов в регрессию. Предполагается, что технологический шок может быть представлен следующим образом:

$$\omega_{it} = \varphi_i + \delta_t + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

где φ_i — та часть технологического шока, которая объясняется особенностями фирмы (фиксированный эффект), а δ_t — часть, объясняемая макроэкономическими факторами. Условием валидности оценок, полученных в оценке регрессии с фиксированными эффектами, является некоррелированность остатка, не объяс-

⁷ Например, из-за изменения мотивации занятых сотрудников, вызванной внешними факторами, изменения в доступности качественного сырья и материалов или новых технологий из-за каких-либо внешних ограничений и пр.

няемого переменными φ_i и δ_i , с регрессорами. Принципиальным недостатком такой спецификации является предположение о постоянстве ненаблюдаемых характеристик фирмы, влияющих на ее производительность (φ_i) (фирма наблюдает ϵ_{it} только после принятия решения об используемых факторах), что является достаточно сильным предположением и не всегда реализуется на практике. Дополнительно делается предположение, что случайные компоненты шока не коррелированы во времени.

Исходя из этого в регрессию включалось лаговое значение индикатора технологии $y \cdot electroplav_{it-1}$ на основе следующей предпосылки: если на решение фирмы о переходе на новую технологию повлиял специфический ненаблюдаемый шок в момент $t-1$, то он уже не может оказывать воздействие на производительность в момент t . Дополнительно в регрессию включались географические координаты предприятия для контроля пространственных эффектов производительности. Для тестирования устойчивости результатов также оценивалась модель со случайными эффектами (GLS estimator), которая предполагает некоррелированность шока производительности с принятием фирмой решения о факторах производства.

Альтернативным и сравнительно новым подходом к оценке производственных функций на уровне отдельных предприятий является использование метода контрольной функции, в частности предложенного в работах [Mollisi, Rovigatti, 2017; Olley, Pakes, 1996], который основан на использовании информации об инвестициях фирмы.

Предпосылки метода состоят в следующем [Kasahara et al., 2015].

1. Решение об инвестициях следует закону: $k_{it} = (1 - \delta)k_{it-1} + I_{it-1}$.
2. Инвестиции представляют собой функцию, положительно зависящую от производительности и объема капитала: $I_{it} = I_t(k_{it}, \omega_{it})$.
3. Решение об объеме трудовых ресурсов принимается в каждый период, при этом решение, принятое в предыдущем периоде, не влияет на решение в текущем.
4. Технологический шок моделируется Марковским процессом первого рода: $p(\omega_{it+1} | \tilde{I}_{it}) = p(\omega_{it+1} | \omega_{it})$.

Технологический шок может быть выражен как функция от инвестиций и капитала (условие инвертируемости, которое выполняется в силу монотонности функции инвестиций): $\omega_{it} = I_t^{-1}(k_{it}, I_{it})$.

Таким образом, исходная модель приобретает вид:

$$y_{it} = \beta k_{it} + \alpha l_{it} + I_t^{-1}(k_{it}, I_{it}) + \epsilon_{it} = \alpha l_{it} + f_t(k_{it}, I_{it}). \quad (5)$$

Оценивая уравнение на первом шаге, получаем оценки α и $f_{it} = f_i(k_{it}, I_{it})$.

На следующем шаге, используя исходное условие $\omega_{it} = E(\omega_{it} | \omega_{it-1}) + \epsilon_{it} = g(\omega_{it-1}) + \epsilon_{it}$ и $E(\omega_{it} | k_{it}) = 0$, оцениваем уравнение:

$$y_{it} - \alpha I_{it} = \beta k_{it} + g(\omega_{it-1}) + \epsilon_{it} + \varepsilon_{it} = \beta k_{it} + g(f_{it-1} - \beta k_{it-1}) + \epsilon_{it} + \varepsilon_{it}. \quad (6)$$

Для получения оценки коэффициента β используются оценки α и f_{it} , полученные на предыдущем шаге. Преимуществом такой процедуры по сравнению с обычной панельной регрессией является отсутствие ограничения на постоянство производительности фирмы во времени.

Важным недостатком использования метода, предложенного в работе [Olley, Pakes, 1996], является то, что он предполагает наличие ненулевых инвестиций у подавляющей части предприятий в выборке. На практике это требование может не выполняться, что ведет к появлению усеченного распределения инвестиций в выборке (truncated data). Исходя из этого в работе [Levinsohn, Petrin, 2003] был предложен альтернативный подход — использование стоимости сырья и материалов (intermediate inputs) в качестве прокси для ненаблюдаемого шока производительности (наличие положительного шока производительности предполагает увеличение спроса на сырье и материалы). Поскольку фирмы, осуществляющие операционную деятельность, всегда имеют положительную величину этого используемого показателя, это позволяет решить проблему усеченных данных.

Другим недостатком использования метода [Olley, Pakes, 1996] является то, что функция спроса фирмы на инвестиции может иметь разрывы из-за наличия издержек приспособления (adjustment cost)⁸, соответственно, изменения в инвестициях фирмы могут не в полной мере отражать воздействия шока производительности, и проблема смещения оценок эластичности выпуска будет по-прежнему оставаться актуальной. Таким образом, использование подхода [Levinsohn, Petrin, 2003] будет иметь преимущество, так как спрос на сырье и материалы в меньшей степени подвержен влиянию издержек приспособления.

На втором этапе производилась оценка детерминант решения фирмы о переходе на новую технологию. Гипотеза состояла в том, что предприятия, входящие в состав крупных финансово-промышленных групп, будут ориентированы на технологическое перевооружение, а значит, вероятность перехода на новую технологию для них будет выше. С этой целью была построена переменная — бинарный индикатор, фиксирующая статус предприятия

⁸ В качестве примера таких издержек можно привести затраты на обучение персонала в связи с установкой нового оборудования.

(принадлежность к финансово-промышленной группе). Оценивалась также связь вероятности перехода на новую технологию с пространственным расположением предприятия. Проверялась гипотеза о том, что при прочих равных стимулы к освоению новой технологии будут выше у предприятий, ориентированных на экспорт. В качестве прокси для этой переменной рассматривалось расстояние до ближайшего крупного порта Балтийского, Черноморского и Дальневосточного бассейнов. Дополнительно оценивалась связь между текущим уровнем производительности предприятия (переменная $productivity_{it}$, соответствующая A_{it} , оценки которой были получены при оценке уравнения (2)) и вероятностью его перехода к новой технологии. Оценивалось следующее уравнение регрессии:

$$Electroplav_{i,t+1} = \alpha + \beta_1 capital\ labor\ ratio_{it} + \beta_2 productivity_{it} + \beta_3 group_{it} + \beta_4 port_dist_i + \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

где $Electroplav_{i,t+1}$ — индикатор, принимающий значение 1, если предприятие перешло на новую технологию в году, следующем за годом наблюдения; $capital\ labor\ ratio_{it}$ — капиталовооруженность предприятия; $group_{it}$ — индикатор принадлежности к финансово-промышленной группе; $port_dist_i$ — расстояние до ближайшего крупного морского порта.

4. Результаты эмпирического анализа

Результаты оценивания уравнения (2) представлены в табл. 4. Сначала оценивалась базовая спецификация (сквозная регрессия с помощью МНК), далее оценивалась модель с фиксированными и случайными эффектами (2-й и 3-й столбцы таблицы).

Результаты показывают, что предприятия металлургической отрасли, перешедшие на новую технологию плавки (использование электродуговых печей), демонстрируют прирост факторной производительности в среднем на 24–25%, что согласуется с имеющимися в литературе оценками. Поскольку валидность полученных оценок предполагает выполнение достаточно сильных исходных предположений, необходимо использовать дополнительные методы, требующие менее строгих предположений, что обсуждалось выше.

Результаты оценки общей факторной производительности металлургических предприятий с использованием метода контрольной функции Olley — Pakes и Levinsohn — Petrin представлены в табл. 5⁹.

⁹ Результаты получены с использованием модуля *prodest* в пакете STATA [Mollisi, Rovigatti, 2017]. Эндогенными переменными являются значение капитала и индикатор технологии в периоде t . В качестве экзогенной переменной рассматривалась численность персонала, в качестве прокси-переменных использовались величина инвестиций (процедура Olley — Pakes) и расходы на материалы (метод Levinsohn — Petrin).

Т а б л и ц а 4

**Результаты оценки влияния перехода на электроплавильную технологию
на общую факторную производительность металлургических предприятий**

| Модель | Сквозная регрессия (МНК-Pooled) | Фиксированные эффекты — within estimator | Случайные эффекты GLS estimator |
|--|---|--|---------------------------------|
| Переменные в логарифмах | Зависимая переменная: логарифм выпуска в тоннах | | |
| Основные фонды (тыс. долл.) | 0,406*** (0,0421) | 0,0536 (0,0458) | 0,178*** (0,042) |
| Среднесписочная численность занятых (чел.) | 0,104*** (0,0374) | 0,698*** (0,0764) | 0,433*** (0,057) |
| Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | 0,203*** (0,0461) | 0,171*** (0,0293) | 0,144*** (0,0287) |
| <i>tech</i>_{<i>t-1</i>} — индикатор перехода на электроплавильную технологию в году <i>t-1</i> | 0,24** (0,11) | 0,242** (0,114) | 0,252** (0,113) |
| Широта | 0,0210* (0,0123) | | 0,0339 (0,03) |
| Долгота | -0,000432 (0,00158) | | -0,00163 (0,0071) |
| Константа | -3,312*** (0,903) | -2,086*** (0,668) | -1,185** (0,576) |
| Число наблюдений | 256 | 256 | 256 |
| <i>R</i> ² | 0,67 | 0,435 | |
| Число предприятий/групп в выборке | | 33 | 33 |

Примечание. В скобках указаны робастные стандартные ошибки коэффициентов; *** — $p < 0,01$, ** — $p < 0,05$, * — $p < 0,1$.

Источник: рассчитано по информации сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Т а б л и ц а 5

**Результаты оценивания влияния электроплавильной технологии
на общую факторную производительность**

| Модель | Olley — Pakes | Levinsohn — Petrin |
|---|--|---------------------|
| Переменные в логарифмах | Зависимая переменная: логарифм выпуска в тоннах | |
| Основные фонды (тыс. долл.) | 0,46*** (0,111) | 0,266*** (0,117) |
| Среднесписочная численность занятых (чел.) | 0,069 (0,078) | 0,097*** (0,018) |
| Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | 0,172 (0,121) | 0,153*** (0,074) |
| <i>Electroplav</i> — индикатор использования электроплавильной технологии в году <i>t</i> | 0,551*** (0,101) | 0,28*** (0,076) |
| Число наблюдений | 256 | 256 |
| Число предприятий/групп в выборке | 33 | 33 |

Примечание. В скобках указаны робастные стандартные ошибки коэффициентов; *** — $p < 0,01$, ** — $p < 0,05$, * — $p < 0,1$.

Источник: рассчитано по информации сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Т а б л и ц а 6

**Результаты оценки влияния электроплавильной технологии
на эластичность выпуска по капиталу и труду (выпуск, тыс. тонн)**

| Модель | МНК-Pooled | Фиксированные эффекты — within estimator | Случайные эффекты (GLS estimator) |
|---|--|--|---|
| Переменные в логарифмах | Зависимая переменная: логарифм выпуска в тоннах | | |
| Основные фонды (тыс. долл.) | 0,479*** (0,0604) | 0,169** (0,0743) | 0,274*** (0,0725) |
| Среднесписочная численность занятых (чел.) | 0,334*** (0,126) | 0,945*** (0,0741) | 0,699*** (0,0675) |
| Стоимость сырья и материалов (тыс. долл.) | 0,0216 (0,0782) | 0,210*** (0,0486) | 0,0740 (0,0475) |
| <i>Electroplav</i> — индикатор использования электроплавильной технологии в году <i>t</i> | 0,594 (1,041) | 5,896*** (1,079) | 4,118*** (1,058) |
| <i>Electroplav</i> * (Численность персонала) | -0,232* (0,131) | -0,318*** (0,0585) | -0,340*** (0,0625) |
| <i>Electroplav</i> * (Основные фонды) | -0,180** (0,0865) | -0,128 (0,0877) | -0,116 (0,0862) |
| <i>Electroplav</i> * (Стоимость сырья и материалов) | 0,306** (0,121) | -0,103* (0,0551) | 0,0415 (0,0557) |
| Число наблюдений | 256 | 256 | 256 |
| R ² | 0,696 | 0,592 | |
| Число предприятий/групп в выборке | | 33 | 33 |

Примечание. В скобках указаны робастные стандартные ошибки коэффициентов;
*** — $p < 0,01$, ** — $p < 0,05$, * — $p < 0,1$.

Источник: рассчитано по информации сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Результаты согласуются с оценками, полученными с помощью модели с фиксированными и случайными эффектами: использование электроплавильной технологии ведет к значительному приросту общей факторной производительности металлургических предприятий.

На следующем шаге оценивалось влияние использования электроплавильной технологии на параметры производственной функции — тестировалась гипотеза о том, что предприятия, использующие электроплавильную технологию, демонстрируют низкую эластичность по труду. Для этой цели в оцениваемое уравнение дополнительно включались произведения логарифма факторов и индикатора электроплавильной технологии (переменные *Electroplav** (Логарифм основных фондов); *Electroplav** (Логарифм численности персонала); *Electroplav** (Логарифм стоимости сырья и материалов)). Результаты оценивания представлены в табл. 6.

Они свидетельствуют, что электроплавильная технология характеризуется меньшей трудоемкостью: эластичность выпуска по

труду меньше для предприятий, использующих электроплавильную технологию.

В целом можно сделать вывод о том, что переход предприятий металлургической отрасли к более прогрессивной технологии в период с 2008 по 2017 годы сопровождался приростом общей факторной производительности в пределах 24–58%. Вместе с тем корректная интерпретация полученных оценок должна учитывать ограничения в имеющемся наборе данных. Адаптация новой технологии могла сопровождаться изменениями в менеджменте предприятия, а также другими технологическими изменениями, иными словами, часть полученного эффекта может быть объяснена прочими факторами, имеющими динамическую природу. Логично предположить, что переход предприятия к использованию новой технологии сопровождался комплексом изменений в структуре собственности, процессах управления и производства.

Для определения детерминант перехода к новой технологии оценивалось уравнение (7), результаты его оценки представлены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Детерминанты перехода к электроплавильной технологии металлургических предприятий

| Модель | MNK-Pooled | MNK-Pooled | MNK-Pooled | MNK-Pooled |
|---|--|----------------------|------------------------|----------------------|
| Переменные | Зависимая переменная: индикатор перехода на новую технологию в году, следующем за годом наблюдения | | | |
| Логарифм производительности | 0,118*** (0,020) | 0,121*** (0,019) | 0,12*** (0,019) | 0,12*** (0,02) |
| Логарифм капиталовооруженности | -0,183*** (0,040) | -0,185*** (0,039) | -0,179*** (0,042) | -0,18*** (0,045) |
| Принадлежность к ФПП | | 0,157*** (0,051) | 0,193*** (0,051) | 0,2*** (0,054) |
| Расстояние до ближайшего морского порта | | | -0,0001*** (0,0000) | -0,0001 (0,0001) |
| Долгота | | | | 0,0011 (0,0011) |
| Широта | | | | -0,0144** (0,008) |
| Число наблюдений | 269 | 269 | 269 | 269 |
| R ² | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,12 |

Примечание: в скобках указаны робастные стандартные ошибки коэффициентов; *** — $p < 0,01$, ** — $p < 0,05$, * — $p < 0,1$.

Источник: рассчитано по информации сетевого издания «Информационный ресурс СПАРК» (<http://www.spark-interfax.ru/ru/about>) и системы «РУСЛАНА» (<https://www.bvdinfo.com/en-gb/our-products/data/national/ruslana>).

Результаты анализа показывают, что принадлежность к финансово-промышленной группе является важной детерминантой решения фирмы о переходе на новую технологию (вероятность пе-

перехода к новой технологии предприятий ФПГ возрастает на 20%). Существует также статистически значимая связь между переходом к новой технологии и местом расположения предприятия: расстояние до ближайшего морского порта имеет отрицательную связь с вероятностью перехода к использованию новой технологии (статистическая значимость коэффициента исчезает при включении в регрессию долготы и широты, поскольку эти переменные в целом имеют сходное влияние). Следует отметить, что вероятность перехода к новой технологии выше у предприятий с изначально более высоким уровнем производительности, что соотносится с результатами, полученными в работе [Nakamura, Ohashi, 2008]. В целом полученные результаты позволяют сделать вывод, что технологическое переоснащение российских металлургических предприятий предполагало ряд исходных условий:

- вхождение предприятия в состав консолидированной группы активов, подразумевающей единое управление и стратегию развития (более высокий уровень менеджмента), доступ к инвестиционным ресурсам;
- наличие доступа к портовой инфраструктуре и, соответственно, к мировому рынку;
- достаточно высокий уровень начальной производительности (высокий уровень профессионализма менеджмента и персонала в использовании традиционной технологии).

Заключение

В целом полученные результаты демонстрируют, что внедрение новых сталеплавильных технологий в металлургической отрасли привело к существенному росту общей факторной производительности, причем количественное значение оцененного коэффициента согласуется с результатами работ по другим странам, в частности Японии [Nakamura, Ohashi, 2008]. Для решения проблемы эндогенности использовались метод панельной регрессии с фиксированными эффектами и метод контрольной функции: полученные с помощью различных методов результаты согласуются между собой.

Также в результате анализа выявлены статистически значимые различия в параметрах производственной функции у предприятий, использующих электроплавильную и мартеновскую технологию: у электроплавильных предприятий ниже отдача от труда (результаты статистически значимы во всех спецификациях, табл. 6) и ниже материалоемкость (результаты в регрессии с фиксированными эффектами, табл. 6). Выявленные различия в параметрах производственных функций также согласуются с результатами

других работ, исследующих влияние перехода к более прогрессивной технологии на факторные эластичности выпуска [Collard-Wexler, De Loecker, 2015].

Анализ факторов, влияющих на вероятность перехода к новой технологии, в целом подтвердил сформулированные гипотезы: процесс консолидации активов металлургической отрасли, их объединения под управлением холдинговых компаний в 2000-е годы сопровождался технологическим переоснащением производства, строительством новых мощностей. Полученные результаты могут служить отправной точкой при анализе связей между местом расположения предприятия и его инвестиционной и технологической стратегиями, ориентацией на экспорт и др. Было показано, что предприятия, расположенные ближе к крупным портам и, следовательно, имеющие меньшие издержки доступа на мировой рынок, характеризуются более высокой вероятностью перехода к более производительной технологии. Важно отметить, что оценки вероятности перехода к новой технологии выше для предприятий с более высоким уровнем производительности. Одно из возможных объяснений этого состоит в том, что предприятия с более профессиональным менеджментом и производственным персоналом характеризуются меньшими издержками перехода к новой технологии.

Полученные результаты значимы с точки зрения планирования экономической политики государства: опыт технологического обновления металлургической отрасли показывает необходимость формирования ряда начальных предпосылок. Соответственно, в качестве инструментов стимулирования технологических инноваций в других отраслях промышленности можно рассмотреть:

- снижение административных издержек, связанных с процессом консолидации активов отрасли в рамках ФПП, так как это позволяет повысить качество менеджмента, получить доступ к инвестиционным ресурсам, необходимым для последующего технологического переоснащения;
- снижение барьеров доступа к мировому рынку сбыта продукции, в том числе за счет развития проектов транспортной инфраструктуры, способствующих снижению транспортных издержек предприятий;
- меры по развитию профессионального образования: высокий уровень профессионализма персонала ведет к снижению издержек адаптации при переходе к новой технологии.

Одним из направлений для последующих работ может стать более детальное изучение детерминант перехода к новой техно-

логии на основе дополненного набора данных, охватывающее как большее число контрольных переменных, так и более широкие временные рамки анализа. В целом полученные результаты позволяют оценить эффект от технологических изменений и сформулировать рекомендации для государственной политики по устранению факторов, препятствующих внедрению новых технологий.

Литература

1. Ревинская Л. Тенденции развития мировой и российской черной металлургии в кризисный период // Экономические науки. 2015. Т. 13. № 2. С. 72–77.
2. Caselli F. Technological Revolutions // American Economic Review. 1999. Vol. 89. No 1. P. 78–102.
3. Collard-Wexler A., De Loecker J. Reallocation and Technology: Evidence from the US Steel Industry // American Economic Review. 2015. Vol. 105. No 1. P. 131–171.
4. Jovanovic B., Nyarko Y. Learning by Doing and the Choice of Technology. National Bureau of Economic Research. WP 4739. 1994.
5. Kasahara H., Schrimpf P., Suzuki M. Identification and Estimation of Production Function with Unobserved Heterogeneity // University of British Columbia Mimeo. 2015.
6. Levinsohn J., Petrin A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables // The Review of Economic Studies. 2003. Vol. 70. No 2. P. 317–341.
7. Mollisi V., Rovigatti G. Theory and Practice of TFP Estimation: The Control Function Approach Using Stata. CEIS Working Paper. No 399. 2017.
8. Nakamura T., Ohashi H. Effects of Technology Adoption on Productivity and Industry Growth: A Study of Steel Refining Furnaces // The Journal of Industrial Economics. 2008. Vol. 56. No 3. P. 470–499.
9. Olley G., Pakes A. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry // Econometrica. 1996. Vol. 64. No 6. P. 1263–1297.

Ekonomicheskaya Politika, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 132-151

Viktor M. MALEIN, Cand. Sci. (Econ.). Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (84/9, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation).
E-mail: malein-vm@ranepa.ru

Yuriy Yu. PONOMAREV, Cand. Sci. (Econ.). Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (84/9, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation); Gaidar Institute for Economic Policy (str. 1, 3-5, Gazetny per., Moscow, 125993, Russian Federation).
E-mail: ponomarev@ranepa.ru

Analysis of Impact of New Technologies in Metallurgy on the Industry Production Function and Total Factor Productivity

Abstract

Identification of positive conditions for structural transformation of industries in the Russian economy and also formation of a scientific base for development of practical recommendations for industrial policy are extremely important for the fulfillment of national goals set forth in the Presidential Decree No. 204 dated

May 7, 2018. From the early 2000s up till now, development of the Russian metal industry has been characterized by gradual abandonment of the traditional method of steelmaking in open-hearth furnaces as well as transition to a more progressive electric melting technology. The article assesses the impact of this technology change on total factor productivity (TFP) of metallurgical enterprises and on the functional form of the production function in the industry for the period 2008–2017, as well as the factors of transition to the new technology for metallurgical companies. The results show that the transition to the new technology was accompanied by a 24–28% increase in TFP as well as changes in the parameters of the production function, in particular, a decrease in labor and material intensity of production. An analysis of the factors influencing the likelihood of transition to the new technology has confirmed our hypotheses: the process of assets consolidation in the metallurgical industry under the control of several holdings in the 2000s was accompanied by technological re-equipment of production and construction of new facilities. Enterprises that are part of a single financial and industrial group with higher productivity and access to the world market are characterized by a higher probability of transition to the new technology. In addition, estimates of the likelihood of transition to the new technology are higher for enterprises with higher levels of productivity.

Keywords: metallurgy, total factor productivity, technological changes.

JEL: D24, L23, M11, O33.

References

1. Revinskaya L. Tendentsii razvitiya mirovoy i rossiyskoy chernoy metallurgii v krizisnyy period [Tendencies in the Development of the World and Russian Steel Industry in the Crisis Period]. *Ekonomicheskie nauki [Economic Sciences]*, 2015, vol. 13, no. 2, pp. 72–77.
2. Caselli F. Technological Revolutions. *American Economic Review*, 1999, vol. 89, no. 1, pp. 78–102.
3. Collard-Wexler A., De Loecker J. Reallocation and Technology: Evidence from the US Steel Industry. *American Economic Review*, 2015, vol. 105, no. 1, pp. 131–171.
4. Jovanovic B., Nyarko Y. Learning by Doing and the Choice of Technology. *National Bureau of Economic Research*, WP 4739, 1994.
5. Kasahara H., Schrimpf P., Suzuki M. Identification and Estimation of Production Function with Unobserved Heterogeneity. *University of British Columbia Mimeo*, 2015.
6. Levinsohn J., Petrin A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables. *The Review of Economic Studies*, 2003, vol. 70, no. 2, pp. 317–341.
7. Mollisi V., Rovigatti G. Theory and Practice of TFP Estimation: The Control Function Approach Using Stata. *CEIS Working Paper*, no. 399, 2017.
8. Nakamura T., Ohashi H. Effects of Technology Adoption on Productivity and Industry Growth: A Study of Steel Refining Furnaces. *The Journal of Industrial Economics*, 2008, vol. 56, no. 3, pp. 470–499.
9. Olley G., Pakes A. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry. *Econometrica*, 1996, vol. 64, no. 6, pp. 1263–1297.