

Роботизация как фактор адаптации российских фирм к внеэкономическим шокам

М. Г. Кузык  , К. П. Сергеева 

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»,

г. Москва, Россия

 mkuzyk@hse.ru

Аннотация. Роботизация и автоматизация различных отраслей экономики представляют собой один из главных технологических трендов последнего десятилетия. При этом роль роботизации в прохождении компаниями коронакризиса 2020 г. к настоящему моменту изучена далеко не в полной мере, тогда как в отношении влияния роботов на успешность функционирования компаний в условиях санкционного шока 2022 г. эмпирические исследования пока отсутствуют вовсе. Статья посвящена анализу факторов и эффектов роботизации российских компаний обрабатывающей промышленности в условиях шоков последних лет. Авторами сформулированы три гипотезы для эмпирической проверки: 1) в ковидный и постковидный период роботизация была более характерна для крупного бизнеса, чем для малых и средних фирм; 2) для фирм, использовавших роботов, было характерно более успешное функционирование в 2020 г.; 3) роботизированные фирмы более успешно функционировали в условиях санкций 2022 г. Суть исследовательского подхода заключается в эмпирическом анализе (посредством регрессионного моделирования) данных опроса руководителей 1,9 тыс. российских компаний обрабатывающей промышленности, проведенного во второй половине 2022 г. Авторами обнаружена значимая положительная связь между внедрением роботов после 2019 г. и крупным масштабом бизнеса. Показано, что в условиях коронакризиса роботизация являлась фактором сохранения занятости. Также выявлена положительная связь между успешностью прохождения компаниями ковидного и санкционного шоков и использованием ими импортного оборудования. Теоретическая значимость работы обусловлена полученными новыми знаниями о факторах роботизации российских фирм в ковидный и постковидный период, а также об особенностях их адаптации к шокам 2020 и 2022 гг. Практическую значимость имеют прежде всего полученные авторами свидетельства усиления «цифрового разрыва» между малым и средним бизнесом и крупными компаниями, а также значимости использования импорта инвестиционной продукции для устойчивого функционирования российских фирм.

Ключевые слова: роботизация; роботы; российские компании; обрабатывающая промышленность; коронакризис; санкции.

1. Введение

Роботизация промышленного производства и иных сфер экономической деятельности представляет собой одно из ключевых направлений происходящей в настоящее время Четвертой промышленной революции. Количество

используемых на производстве роботов устойчиво росло на протяжении последнего десятилетия, достигнув в начале 2023 г. 3,5 млн¹ и превысив уровень 2011 г. более чем в три раза (рис. 1).

¹ <https://clck.ru/3B52uu>

Если в относительно недавнем прошлом сфера использования роботов ограничивалась отдельными промышленными отраслями, такими как автомобилестроение и электронная промышленность, то в последние годы роботизация охватила практически все отрасли и задачи: от сельскохозяйственного производства (см., например, соответствующий обзор Шевченко и др. [1]) и до ухода за больными и престарелыми (Kugarini et al. [2]).

Как отмечает Schwab [3], постоянный технологический прогресс в сфе-

ре робототехники и смежных областях, таких как искусственный интеллект, Интернет вещей, «умные» датчики и др., повышает гибкость и адаптивность роботов, увеличивает набор доступных им функций и операций и тем самым расширяет возможности их применения.

Важно заметить, что после пятилетнего периода динамичного роста темпов установки промышленных роботов в мире в 2018 г. он достаточно резко замедлился, а в 2019 г. стал отрицательным (рис. 2).

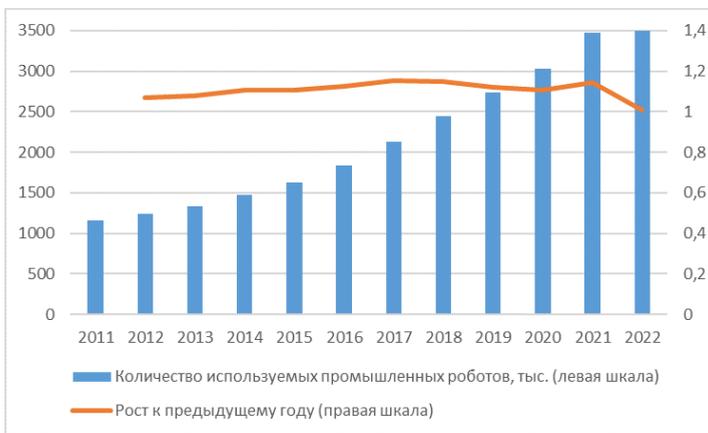


Рис. 1. Динамика количества используемых промышленных роботов в мире

Figure 1. Dynamics of industrial robots in use in the world

Источник: составлено авторами на основе данных IFR.



Рис. 2. Динамика установок промышленных роботов в мире

Figure 2. Dynamics of industrial robot installations in the world

Источник: составлено авторами на основе данных IFR.

По мнению экспертов, это было обусловлено проблемами в индустриях, выступающих ключевыми потребителями робототехники — автомобилестроении и производстве электрической и электронной техники, а также торговой войной между США и Китаем¹. Однако последовавшая затем пандемия COVID-19 и вызванные ею ограничения обеспечили существенный импульс для внедрения роботов и расширения спектра областей их использования (см. Shen et al. [4]).

Что же касается санкционного шока, испытываемого Россией с 2022 г., то его влияние на роботизацию фирм и отраслей еще лишь предстоит изучить. При этом воздействие санкций на использование роботов, как и других типов цифровых технологий и решений, вообще говоря, может быть двояким.

Абдулкадыров и Маккаева [5] отмечают, что возможными негативными последствиями санкционного давления являются трудности с поставками и обслуживанием необходимого зарубежного оборудования, затруднение обмена знаниями и информацией и использования компетенций резидентов недружественных стран, повышение рисков реализации совместных проектов, а также обострение дефицита кадров; позитивных — освобождение рыночных ниш, ранее прочно занятых ушедшими из России зарубежными компаниями и связанный с этим рост внутреннего спроса на отечественные продукты и решения.

В данном контексте важно упомянуть о том, что в Иране, значительно раньше России оказавшемся под гнетом масштабных экономических санкций, как отмечали Дежина и др. [6], в последнее десятилетие происходило весьма динамичное развитие цифровых технологий, пусть и сдерживаемое огра-

ничениями поставок необходимого оборудования и информационного обмена.

Санкции, введенные в России в 2014–2015 гг., имели ряд негативных последствий для цифровизации компаний: затруднение доступа к зарубежным цифровым технологиям и оборудованию, ограничения информационного обмена с иностранными партнерами и др. Однако итоговое влияние санкций первой волны на цифровое развитие фирм, по оценкам Khachatryan et al. [7], оказалось положительным.

Более того, есть некоторые основания полагать, что в случае с гораздо более масштабными санкциями второй волны баланс негативных и позитивных последствий для цифровизации бизнеса, по крайней мере, на первых порах был смещен в сторону вторых: согласно результатам опроса представителей российского малого и среднего бизнеса, проведенного в 2022 г., санкционный шок не замедлил, а, скорее, ускорил цифровое развитие российских фирм, несмотря на возникшие у значительной части из них (около 40 %) ограничениями доступа к иностранным сервисам².

Вместе с тем санкции создают проблемы для развития российского цифрового сектора, являющегося источником необходимых технологий и услуг для цифровизации бизнеса. Как отмечают Ганичев и Кошовец [8], структурные особенности российского цифрового сектора, прежде всего преобладание в нем динамично развивающейся, но не имеющей под собой отечественной аппаратной основы отрасли ИТ-услуг и давно исчерпавшего потенциал экстенсивного расширения сектора телекоммуникаций, накладывают серьезные ограничения на потенциал его дальнейшего роста. При этом радикаль-

¹ https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Industrial_Robots_1.pdf

² <https://nafi.ru/analytics/bank-otkrytie-interes-malogo-biznesa-k-tsifrovizatsii-i-udalennoy-rabote-rezko-vyros-v-2022-godu/>

но изменить эту ситуацию не смогут даже очень значительные в масштабах российского бюджета инвестиции в отрасль.

В условиях же, отмечаемых Злобиной и Пешковой [9], все еще достаточно низкого уровня автоматизации производства в России и высокой степени зависимости от аппаратного и программного обеспечения иностранных компаний, прежде всего европейских, американских и японских, это создает существенные риски для дальнейшей роботизации российских фирм.

Важно заметить, что при существенном внимании, уделяемом в современной экономической литературе прохождению российскими компаниями шоков последних лет, а также особенностям и эффектам использования ими роботов, во взаимосвязи друг с другом эти вопросы, насколько нам известно, еще не рассматривались. Настоящая статья призвана отчасти восполнить данный пробел.

Целью исследования является анализ факторов роботизации российских фирм после 2019 г. и взаимосвязи использования роботов с успешностью адаптации фирм к коронакризисному и санкционному шокам.

Гипотезы для эмпирической проверки.

H1: В ковидный и постковидный период роботизация была более характерна для крупного бизнеса, чем для малых и средних фирм.

H2: Для фирм, использовавших роботов, было характерно более успешное функционирование в 2020 г.

H3: Роботизированные фирмы более успешно функционировали в условиях санкций 2022 г.

Структура статьи: во втором разделе проводится обзор современной литературы в предметной области исследования, в третьем представлены используемые методы и данные, четвертый — содержит описание результатов

проведенного анализа, в пятом — проводится их обсуждение, в заключении представлены основные содержательные выводы.

2. Обзор литературы

Согласно широко распространенному среди исследователей и экспертов мнению, пандемия COVID-19 стимулировала использование компаниями роботов, в том числе в новых для них сферах. Имеется немало свидетельств того, что роботизация позволила снизить численность задействованного персонала и увеличить социальную дистанцию между работниками.

Chauhan [10] приводит примеры снижения численности персонала при внедрении роботов в обрабатывающей промышленности, торговле и сфере общественного питания.

Gupta et al. [11] рассматривает эффекты снижения численности персонала при внедрении роботов в пищевом производстве и сфере доставки.

Shen et al. [4] анализирует примеры снижения численности персонала и обеспечения социального дистанцирования работников при внедрении роботов в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве и ряде других отраслей.

Кроме того, компании нередко использовали роботов для дезинфекции производственных и офисных помещений, транспортных средств и т. п.

Mehta et al. [12] проводит обзор основных типов подобного рода устройств, а также приводит конкретные их примеры.

Guettari et al. [13] обосновывает эффективность использования мобильного робота для дезинфекции помещений.

Ruan et al. [14] подробно описывает дизайн соответствующего робота, алгоритм его работы, а также результаты применения.

Zhao et al. [15] на основе мета-анализа научных статей и отчетов прихо-

дят к выводу о том, что именно дезинфекция являлась главным направлением использования роботов в период пандемии.

Murphy et al. [16], основываясь на анализе более чем 250 сообщений СМИ, отмечает, что одним из главных эффектов применения роботов в период пандемии стало продолжение функционирования фирм в условиях введенных властями ограничений, в частности благодаря автоматизации операций, ранее выполнявшихся работниками, и обеззараживанию рабочих мест.

При этом, говоря о фирмах, внедривших роботов в ковидный и постковидный период, авторы, как правило, акцентировали внимание лишь на их отраслевой принадлежности.

В более широком контексте (применительно не только к роботам, а к цифровизации в целом) исследователи нередко также делали акцент на величине компаний, причем в целом ряде работ отмечалась активизация цифрового развития малых и средних фирм. Так, согласно результатам обследования¹ малого бизнеса, проведенного компаниями IDC и Cisco в 2020 г. в восьми развитых и развивающихся странах, до 70 % стали шире использовать цифровые технологии в ответ на вызовы пандемии.

В США около половины малых и средних фирм, обследованных некоммерческой организацией Connected Commerce Council², в период пандемии начали использовать по меньшей мере одно новое для себя цифровое решение. В Германии 88 % опрошенных компа-

нией McKinsey³ представителей малого и среднего бизнеса отметили рост значимости цифровизации в период коронакризиса, а 84 % указали цифровизацию в качестве составной части своей антикризисной стратегии.

Существенное положительное воздействие пандемии на цифровизацию малого и среднего бизнеса наблюдалось также в Канаде⁴, Австралии⁵, Бразилии⁶ и некоторых других странах (см., например, соответствующий обзор OECD [17]).

В России по итогам проведенного в 2020 г. репрезентативного опроса⁷ представителей малого и среднего бизнеса отмечалось, что пандемия дала мощный толчок цифровизации фирм, причем в части не только вынужденного перехода на удаленный формат работы и ведение бизнеса в режиме онлайн, но и активизации использования ряда цифровых технологий.

Однако имеются и обратные примеры. Так, в Малайзии, согласно данным, приведенным Tong & Gong⁸, пандемия ускорила цифровую трансформацию четверти малых и средних фирм, тогда как замедлила 60 % МСП.

Кроме того, цифровизация малого и среднего бизнеса в период коронакризиса была сопряжена с немалыми трудностями. Так, согласно результатам опроса, проведенного компанией

³ <https://clck.ru/3B5EtJ>

⁴ <https://newsroom.ca.paypal-corp.com/download/Business+of+Change+-+PayPal+Canada+Small+Business+Study.pdf>

⁵ <https://www.afr.com/companies/financial-services/no-one-size-fits-all-for-digital-small-business-recovery-20200827-p55pun>

⁶ <https://www.zdnet.com/article/brazilian-smbs-accelerate-tech-adoption-amid-pandemic/>

⁷ <https://nafi.ru/analytics/pandemiya-i-perekhod-kompaniy-na-udalenu-indeks-tsifrovizatsii-malogo-i-srednego-biznesa/?ysclid=li036hrz22370466495>

⁸ <https://blogs.lse.ac.uk/seac/2020/10/20/the-impact-of-covid-19-on-sme-digitalisation-in-malaysia/>

¹ <https://newsroom.cisco.com/c/r/newsroom/en/us/a/y2020/m09/cisco-research-finds-small-businesses-can-add-2-3t-to-global-gdp-growth-by-2024.html>

² <https://nafi.ru/analytics/pandemiya-i-perekhod-kompaniy-na-udalenu-indeks-tsifrovizatsii-malogo-i-srednego-biznesa/?ysclid=li036hrz22370466495>

Staples Canada¹, 44 % канадских малых фирм столкнулись в острой фазе коронакризиса с разного рода проблемами цифрового развития.

В России главным препятствием для цифровизации малых и средних фирм в период пандемии, как отмечено в совместном исследовании Банка «Открытие» и Московской школы управления «Сколково»² и работе Кулаги [18], стал недостаток финансовых ресурсов.

За рубежом, как свидетельствуют результаты масштабного обследования малого бизнеса, проведенного компанией Cisco в восьми странах, данная проблема также играла существенную роль³. Также имеются эмпирические свидетельства, что при общем позитивном влиянии пандемии на распространение цифровых технологий данный эффект ярче проявлялся у крупного бизнеса.

Bellmann et al. [19] показали, что в Германии инвестиции в цифровые технологии осуществляли свыше 90 % крупных фирм и около половины малых. Кроме того, коронакризис ускорил цифровизацию почти трех четвертей крупных компаний и лишь примерно трети малых.

В России, как показали результаты совместного исследования PwC и АБВУУ Россия⁴, доля затрачиваемых на цифровизацию средств у компаний-флагманов была выше, чем у остальных фирм, причем первые и в дальнейшем планировали осуществлять более зна-

чимые инвестиции в цифровые проекты. Это позволяет нам выдвинуть для эмпирической проверки следующую гипотезу.

H1. В ковидный и постковидный период роботизация была более характерна для крупного бизнеса, чем для малых и средних фирм.

Важно заметить, что при достаточном большом внимании, уделяемом в научной и экспертной литературе влиянию коронакризисного шока на роботизацию и цифровизацию фирм, вопросы взаимосвязи успешности прохождения компаниями коронакризиса с использованием ими конкретных типов цифровых технологий рассматривались существенно реже. На сегодняшний день нам не известны исследования, в которых подобного рода вопросы ставились бы применительно к роботизации.

Вместе с тем имеется ряд эмпирических подтверждений положительной взаимосвязи между цифровизацией фирм и успешностью их деятельности в острой фазе коронакризиса. В частности, в данном контексте можно отметить упоминавшееся выше исследование компании McKinsey⁵, в котором было выявлено, что в Германии успешное прохождение коронакризисного шока было более характерно для компаний, осуществлявших инвестиции в цифровизацию и автоматизацию своих бизнес-процессов.

Согласно результатам исследования компании Accenture⁶, в Китае компании — лидеры цифровой трансформации демонстрировали более высокий уровень прибыльности и быстрее восстанавливали прежний уровень производительности после коронакризисного шока.

¹ <https://www.staples.ca/a/learn/staples-canada-helps-small-businesses-rebuild-in-a-covid-19-economy>

² <https://nafi.ru/analytics/pandemiya-i-perekhod-kompaniy-na-udalenu-indeks-tsifrovizatsii-malogo-i-srednego-biznesa/?ysclid=li036hrz22370466495>

³ <https://newsroom.cisco.com/c/r/newsroom/en/us/a/y2020/m09/cisco-research-finds-small-businesses-can-add-2-3t-to-global-gdp-growth-by-2024.html>

⁴ <https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=216701&ysclid=Ihd-7ta2v62489058001>

⁵ <https://clck.ru/3B5EtJ>

⁶ <https://www.accenture.com/content/dam/accnture/final/a-com-migration/pdf/pdf-135/accnture-greater-china-enterprise-digital-transformation-index-2020.pdf#zoom=50>

Guo et al. [20] получили содержательно близкий результат по итогам выборочного обследования малых и средних китайских фирм: более высокий уровень цифровизации способствовал финансовой устойчивости и генерированию большего объема доходов.

Согласно отчету Connected Commerce Council¹, в США малые и средние фирмы с более высоким уровнем цифровизации успешнее остальных преодолели острую фазу коронакризиса; при этом свыше половины опрошенных представителей МСП отметили, что цифровые технологии и решения в период пандемии оказались более полезны, чем когда-либо прежде.

В Австралии, по данным обследования субъектов МСП, проведенного местным подразделением Google², для 40 % фирм цифровизация являлась существенной частью их стратегии выживания в острой фазе коронакризиса, а 15 %, по оценке респондентов, вынуждены были бы закрыться, не используя они цифровые технологии и решения.

Riom & Valero [21] провели опрос и показали, что в Великобритании свыше 70 % представителей бизнеса отметили положительное влияние цифровых технологий на прибыльность и лишь порядка 1 % — негативное.

Yip et al. [22] показали, что в Малайзии использование цифровых технологий значимо ослабило негативное влияние коронакризиса на объемы продаж в обрабатывающей промышленности.

Calza et al. [23] провели масштабное обследование фирм обрабатывающей промышленности в 26 развивающихся странах Азии, Африки и Латинской

Америки. Их результаты также демонстрируют позитивную роль цифровизации в прохождении коронакризисного шока: фирмы, использовавшие передовые цифровые технологии, в острой фазе кризиса получали «премию» в виде роста или меньшего снижения объема продаж и прибыли.

Наконец, результаты недавнего исследования, проведенного Азиатским Банком Развития [24] в шести странах АСЕАН, свидетельствуют о наличии существенного вклада цифровизации в устойчивость бизнеса и успешность прохождения им коронакризисного шока.

Рассмотренные свидетельства положительного влияния цифровых технологий на успешность адаптации фирм к коронакризисному шоку дают нам основание выдвинуть гипотезу в отношении роботов как важной составляющей цифрового развития.

H2. Для фирм, использовавших роботов, было характерно более успешное функционирование в 2020 г.

Гораздо в меньшей степени изучены на сегодняшний день вопросы влияния цифровизации фирм на успешность прохождения ими санкционных шоков. В данном контексте можно отметить два недавних исследования.

Cheratian et al. [25] на основе данных обследования фирм Ирана выявили положительную связь между инвестициями в информационные технологии и устойчивостью фирм к санкционному давлению.

Shinozaki [26] по результатам анализа данных обследования малых и средних фирм в семи постсоветских странах Центральной и Восточной Азии, напрямую не затронутых антироссийскими санкциями, обнаружил неоднозначное влияние последних на деятельность цифровизованных фирм: части из них удалось воспользоваться новыми возможностями, возникшими в условиях санкций, тогда

¹ <https://connectedcouncil.org/digital-safety-net-helps-small-businesses-survive-during-covid-19/>

² <https://www.afr.com/companies/financial-services/no-one-size-fits-all-for-digital-small-business-recovery-20200827-p55pun>

как другие, напротив, заметно пострадали от санкционного давления.

Тем не менее, несмотря на скудность доступных эмпирических свидетельств, мы считаем возможным сформулировать для санкционного шока гипотезу, «симметричную» H2.

H3. Роботизированные фирмы более успешно функционировали в условиях санкций 2022 г.

В целом настоящее исследование призвано отчасти восполнить недостаток эмпирических работ, посвященных анализу роботизации фирм в контексте шоков 2020 и 2022 гг.

3. Методы

Источником данных для эмпирического анализа в рамках настоящего исследования послужил опрос руководителей предприятий российской обрабатывающей промышленности, организованный НИУ ВШЭ в августе-ноябре 2022 г. в 71 субъекте РФ¹.

Основной целью опроса являлось выявление реакции промышленных предприятий на пандемию COVID-19 и усиление международных санкций. В качестве респондентов были привлечены топ-менеджеры компаний, при этом 3/4 респондентов являлись генеральными директорами.

Итоговая выборка обследования составила 1 879 предприятий с численностью занятых от 10 человек. Для обеспечения репрезентативности выборки в разрезе рассматриваемых видов деятельности и величины предприятий использовались весовые коэффициенты, приводящие ее структуру в соответствие со структурой генеральной совокупности.

Параметры генеральной совокупности определялись на основе данных

информационно-аналитической системы СПАРК по полному кругу предприятий, относящихся к рассматриваемым видам экономической деятельности, по которым численность работников указана и составляет не менее 10 человек.

Для проверки выдвинутых гипотез мы используем регрессионное моделирование. В случае с первой гипотезой независимой переменной служит факт начала использования компанией роботов в 2020 г. или позднее. Поскольку фирмы, применявшие роботов до 2019 г. включительно, не могли начать их использовать в ковидный или постковидный период, соответствующие наблюдения не включались в рассмотрение. Базовые независимые переменные отражают размер фирм (в разрезе численности работников).

Для контроля влияния иных факторов и характеристик компаний, помимо величины, мы используем широкий спектр переменных, отражающих продолжительность функционирования, отраслевую и региональную принадлежность, размер населенного пункта, форму собственности, участие в составе интегрированной структуры, основных потребителей, наличие экспорта и импорта, а также должность респондента.

Для проверки второй и третьей гипотез в качестве независимых переменных мы используем динамику выручки, численности работников и производительности труда, выступающей в качестве комплексной характеристики конкурентоспособности бизнеса, соответственно, в 2020 и 2022 гг. по отношению к предыдущему году. Ключевой объясняющей переменной выступает факт использования роботов, прочие отражают все перечисленные выше характеристики компаний. Описание используемых переменных представлено в табл. 1.

¹ Опрос проведен в рамках проекта «Конкурентоспособность российских предприятий: реакция на кризис и факторы развития» // Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

Таблица 1. **Описательные статистики переменных**
 Table 1. **Descriptive statistics of variables**

Переменные	Тип	N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.	
Использование роботов	дамми	1878	0	1	0,038	0,192	
Начало использования роботов до 2019 г. включительно	дамми	1878	0	1	0,028	0,164	
Начало использования роботов в 2020 г. или позднее	дамми	1878	0	1	0,011	0,103	
Динамика выручки в 2020 году по сравнению с 2019 г.*	порядк.	1752	-1	1	0,034	0,824	
Динамика выручки в 2022 г. по сравнению с 2021 г.*	порядк.	1539	-1	1	-0,024	0,822	
Динамика численности работников в 2020 г. по сравнению с 2019 г.	порядк.	1694	-1	1	0,122	0,644	
Динамика численности работников в 2022 г. по сравнению с 2021 г.	порядк.	1537	-1	1	-0,055	0,641	
Динамика производительности труда в 2020 г. по сравнению с 2019 г.*	порядк.	1682	-1	1	-0,030	0,808	
Динамика производительности труда в 2022 г. по сравнению с 2021 г.*	порядк.	1478	-1	1	0,056	0,821	
Год создания предприятия	2014 и позже	дамми	1879	0	1	0,173	0,378
	2009–2013	дамми	1879	0	1	0,159	0,366
	2000–2008	дамми	1879	0	1	0,291	0,454
	1992–1999	дамми	1879	0	1	0,230	0,421
	1991 и ранее	дамми	1879	0	1	0,147	0,354
Размер предприятия	микро	дамми	1879	0	1	0,143	0,350
	малое	дамми	1879	0	1	0,436	0,496
	среднее	дамми	1879	0	1	0,245	0,430
	крупное	дамми	1879	0	1	0,175	0,380
Структура собственности	участие государства и/или государственных компаний	дамми	1878	0	1	0,017	0,129
	участие иностранных собственников	дамми	1878	0	1	0,025	0,155
Участие в интегрированной структуре (холдинге)	дамми	1879	0	1	0,143	0,350	
Размер населенного пункта	менее 50 тыс. жителей	дамми	1879	0	1	0,218	0,413

Продолжение табл. 1

Переменные	Тип	N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.	
Размер населенного пункта	50–250 тыс. жителей	дамми	1879	0	1	0,189	0,392
	250 тыс. — 1 млн жителей	дамми	1879	0	1	0,253	0,435
	свыше 1 млн жителей	дамми	1879	0	1	0,341	0,474
Основные потребители	органы государственного и муниципального управления	дамми	1879	0	1	0,054	0,227
	государственные компании	дамми	1879	0	1	0,195	0,397
	бюджетные организации	дамми	1879	0	1	0,170	0,376
	крупные и средние частные российские предприятия	дамми	1879	0	1	0,581	0,494
	малые российские предприятия, индивидуальные предприниматели	дамми	1879	0	1	0,435	0,496
	население	дамми	1879	0	1	0,224	0,417
	иностранские компании, действующие в России	дамми	1879	0	1	0,044	0,204
Импорт промежуточных товаров и/или услуг	дамми	1879	0	1	0,549	0,498	
Импорт оборудования	дамми	1879	0	1	0,482	0,500	
Экспорт	дамми	1879	0	1	0,367	0,482	
Отрасль	производство пищевых продуктов	дамми	1879	0	1	0,180	0,385
	производство текстильных изделий	дамми	1879	0	1	0,025	0,155
	производство одежды, кожи и изделий из кожи	дамми	1879	0	1	0,048	0,214
	обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели, производство изделий из соломки и материалов для плетения	дамми	1879	0	1	0,044	0,206
	производство бумаги и бумажных изделий	дамми	1879	0	1	0,021	0,144

Продолжение табл. 1

Переменные	Тип	N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.
Отрасль						
производство химических веществ и химических продуктов	дамми	1879	0	1	0,046	0,209
производство лекарственных средств и материалов, применяемых в медицинских целях	дамми	1879	0	1	0,014	0,119
производство резиновых и пластмассовых изделий	дамми	1879	0	1	0,068	0,251
производство прочей неметаллической минеральной продукции	дамми	1879	0	1	0,083	0,276
производство металлургическое	дамми	1879	0	1	0,020	0,141
производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	дамми	1879	0	1	0,120	0,325
производство компьютеров, электронных и оптических изделий	дамми	1879	0	1	0,052	0,221
производство электрического оборудования	дамми	1879	0	1	0,047	0,211
производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	дамми	1879	0	1	0,074	0,262
производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	дамми	1879	0	1	0,026	0,159
производство прочих транспортных средств и оборудования	дамми	1879	0	1	0,021	0,143
производство мебели	дамми	1879	0	1	0,035	0,183
ремонт и монтаж машин и оборудования	дамми	1879	0	1	0,073	0,261
Должность респондента						
генеральный директор	дамми	1879	0	1	0,711	0,453

Окончание табл. 1

Переменные		Тип	N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.
Должность респондента	заместитель генерального директора	дамми	1879	0	1	0,117	0,322
	директор по направлению	дамми	1879	0	1	0,150	0,357
	прочие представители руководства	дамми	1879	0	1	0,022	0,148

Примечание: * в сопоставимых ценах.

4. Результаты

Согласно данным проведенного опроса, уровень роботизации российской обрабатывающей промышленности весьма низок: лишь около 3 % компаний используют роботов, причем треть из них начала свою роботизацию в ковидный или постковидный период. При этом крупные фирмы существенно опережают остальные по уровню роботизации и гораздо чаще внедряли роботов после 2019 г. (рис. 3).

Результаты регрессионного анализа (табл. 2) подтверждают наличие положительной связи между внедрением роботов после 2019 г. и крупным масштабом бизнеса, что согласуется с нашим предположением. Кроме того, роботизация

в этот период была характерна для фирм, созданных в «тучные» для российской экономики годы (2000–2008) и импортеров оборудования, тогда как негативными факторами для роботизации выступали ориентация на спрос населения и, что довольно неожиданно, наличие экспорта.

Компании, использовавшие роботов, в 2020 г. чаще остальных демонстрировали положительную динамику выручки и особенно численности работников, тогда как для производительности труда подобная зависимость не прослеживается (рис. 4). Положительную взаимосвязь между динамикой численности занятых и роботизацией подтверждают также результаты регрессионного анализа.

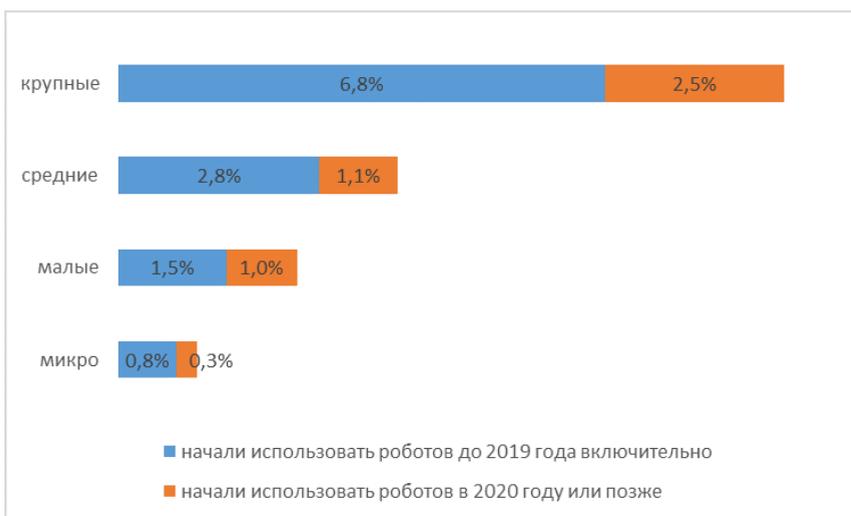


Рис. 3. Использование роботов в зависимости от величины фирм

Figure 3. Use of robots by business size

Таблица 2. Факторы роботизации компаний в ковидный или постковидный период: параметры моделей логистической регрессии (взвешенные данные)

Table 2. Factors of firms' robotization in the covid or post-covid period: parameters of logistic regression models (weighted data)

Независимые переменные		Зависимая переменная — начало использования роботов в 2020 г. или позднее	
		В	Ст. ошибка
Размер предприятия	микро	база	
	малое	1,570	1,659
	среднее	1,279	1,833
	крупное	3,281*	1,896
Год создания предприятия	2014 и позже	база	
	2009–2013	–0,694	1,415
	2000–2008	1,806*	1,105
	1992–1999	0,332	1,244
	1991 и ранее	0,044	1,658
Структура собственности	участие государства и/или государственных компаний	–2,765	4,519
	участие иностранных собственников	2,076	2,022
Участие в интегрированной структуре (холдинге)		–0,474	1,033
Размер населенного пункта	менее 50 тыс. жителей	база	
	50–250 тыс. жителей	2,557	1,713
	250 тыс. — 1 млн жителей	2,147	1,834
	свыше 1 млн жителей	1,937	2,434
Основные потребители	органы государственного и муниципального управления	0,190	1,829
	государственные компании	0,534	0,938
	бюджетные организации	–0,577	1,050
	крупные и средние частные российские предприятия	–0,089	1,112
	малые российские предприятия, индивидуальные предприниматели	0,233	0,794
	население	–3,095*	1,891
	иностранные компании, действующие в России	2,139	1,569

Окончание табл. 2

Независимые переменные	Зависимая переменная — начало использования роботов в 2020 г. или позднее	
	В	Ст. ошибка
Импорт промежуточных товаров и/или услуг	1,071	1,138
Импорт оборудования	2,704**	1,079
Экспорт	-1,699**	0,824
Отраслевая принадлежность	контроль	
Региональная принадлежность	контроль	
Должность респондента	контроль	
χ^2	109,859***	
Псевдо R^2	0,575	
Число наблюдений	1826	

Примечания: * $0,05 \leq p < 0,1$; ** $0,01 \leq p < 0,05$; *** $p < 0,01$. Расчет проведен по подвыборке фирм, не использовавших роботов в период до 2019 г. включительно.

Показатель	Использование роботов	Динамика (доля компаний)	
		снижение на 10% и более	рост на 10% и более
выручка	не использовались	-33%	37%
	использовались	-32%	45%
численность работников	не использовались	-17%	31%
	использовались	-7%	50%
производительность труда	не использовались	-38%	33%
	использовались	-30%	30%

Рис. 4. Динамика выручки, численности работников и производительности труда компаний в 2020 г. в зависимости от использования ими роботов до 2020 г.

Figure 4. Dynamics of firms' revenue, workforce and labor productivity in 2020 depending on their use of robots until 2020

Если же говорить об иных (помимо роботизации) характеристиках фирм, то в части масштабов бизнеса положительная связь с динамикой выручки выявлена для малых и крупных фирм, динамики численности работников — для малых предприятий, что, вообще говоря, может являться следствием осуществления государством в 2020 г. массовой их поддержки с акцентом именно на сохранении занятости. Наихудшей же динамикой производительности труда характеризовались микропредприятия.

Также весьма интересно, что в части как выручки, так и численности занятых, в лучшую сторону значимо выделялись «молодые» фирмы, созданные не ранее 2014 г. Наконец, для фирм, использующих импортное оборудование, была характерна положительная связь с динамикой выручки и занятости, причем рост второй — как можно заключить из присущей им также негативной динамики производительности труда — имел опережающий характер (табл. 3).

Таблица 3. Факторы динамики выручки, численности работников и производительности труда в 2020 г.: параметры моделей логистической регрессии (взвешенные данные)

Table 3. Factors of firms' revenue, workforce and labor productivity dynamics in 2020: parameters of logistic regression models (weighted data)

Независимые переменные		Зависимые переменные: динамика в 2020 г. по сравнению с 2019 г.					
		выручки		численности работников		производительности труда	
		В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка
Использование роботов до 2020 г.		0,100	0,355	0,789**	0,387	0,013	0,356
Размер предприятия	микро	база		база		база	
	малое	0,222*	0,118	0,258**	0,124	0,241**	0,120
	среднее	0,230	0,185	0,002	0,194	0,348*	0,187
	крупное	0,423*	0,228	0,159	0,243	0,515**	0,235
Год создания предприятия	2014 и позже	база		база		база	
	2009–2013	–0,325**	0,151	–0,722***	0,158	–0,152	0,151
	2000–2008	–0,473***	0,135	–0,918***	0,143	–0,251*	0,136
	1992–1999	–0,685***	0,150	–1,034***	0,158	–0,143	0,150
	1991 и ранее	–0,925***	0,186	–1,276***	0,199	–0,275	0,189
Структура собственности	участие государства и/или государственных компаний	–0,394	0,469	–0,018	0,530	–0,535	0,512
	участие иностранных собственников	–0,299	0,420	0,220	0,454	0,080	0,435
Участие в интегрированной структуре (холдинге)		0,272*	0,159	–0,345**	0,167	0,251	0,160
Размер населенного пункта	менее 50 тыс. жителей	база		база		база	
	50–250 тыс. жителей	0,142	0,158	0,010	0,169	0,283*	0,162
	250 тыс. — 1 млн жителей	0,177	0,157	0,075	0,165	0,023	0,159
	свыше 1 млн жителей	0,174	0,191	–0,037	0,201	0,237	0,192

Окончание табл. 3

Независимые переменные		Зависимые переменные: динамика в 2020 г. по сравнению с 2019 г.					
		выручки		численности работников		производительности труда	
		В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка
Основные потребители	органы государственного и муниципального управления	0,220	0,229	-0,105	0,245	0,238	0,235
	государственные компании	-0,066	0,134	-0,101	0,140	-0,155	0,135
	бюджетные организации	-4,3E-06	0,131	0,090	0,138	-0,010	0,132
	крупные и средние частные российские предприятия	-0,019	0,117	-0,044	0,123	-0,082	0,118
	малые российские предприятия, индивидуальные предприниматели	-0,003	0,103	-0,174	0,109	0,069	0,104
	население	0,017	0,124	-0,127	0,131	0,291**	0,126
	иностранные компании, действующие в России	-0,091	0,296	-0,336	0,302	0,033	0,297
Импорт промежуточных товаров и/или услуг		0,056	0,116	0,105	0,121	0,090	0,117
Импорт оборудования		0,173*	0,104	0,314***	0,109	-0,180*	0,105
Экспорт		-0,058	0,112	0,018	0,117	-0,105	0,113
Отраслевая принадлежность		контроль					
Региональная принадлежность		контроль					
Должность респондента		контроль					
χ^2		148,200***		234,364***		103,976***	
Псевдо R^2		0,091		0,147		0,067	
Число наблюдений		1764		1720		1703	

Примечания: * $0,05 \leq p < 0,1$; ** $0,01 \leq p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

В 2022 г. роботизированные компании чаще остальных наращивали и реже сокращали численность работников, тогда как в случае выручки и производительности труда наблюдалась обратная картина (рис. 5). При этом, однако, регрессионный анализ не выявил значимой взаимосвязи роботизации ни с одним из рассматриваемых показателей.

В отношении иных рассматриваемых факторов важно отметить, что для малых фирм выявлена положительная связь с динамикой выручки и численности занятых; для предприятий,

созданных в советскую эпоху, была характерна негативная динамика численности работников и позитивная — выручки и производительности труда. Ориентация на спрос организаций бюджетной сферы отрицательно связана с динамикой выручки и производительности труда, тогда как на спрос населения — с динамикой выручки и занятости. Наконец, как и в случае ковидного шока, в 2022 г. позитивным фактором для динамики выручки и численности работников являлось использование импортного оборудования.



Рис. 5. Динамика выручки, численности работников и производительности труда компаний в 2022 г. в зависимости от использования ими роботов

Figure 5. Dynamics of firms' revenue, workforce and labor productivity in 2022 depending on their use of robots

Таблица 4. Факторы динамики выручки, численности работников и производительности труда в 2022 г.: параметры моделей логистической регрессии (взвешенные данные)

Table 4. Factors of firms' revenue, workforce and labor productivity dynamics in 2022: parameters of logistic regression models (weighted data)

Независимые переменные		Зависимые переменные: динамика в 2022 г. по сравнению с 2011 г.					
		выручки		численности работников		производительности труда	
		В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка
Использование роботов до 2020 г.		-0,164	0,311	0,508	0,334	-0,460	0,325
Размер предприятия	микро	база		база		база	
	малое	0,395***	0,124	0,361***	0,125	0,151	0,123
	среднее	0,331*	0,201	0,188	0,205	0,144	0,203
	крупное	0,461*	0,258	0,117	0,270	0,388	0,269

Независимые переменные		Зависимые переменные: динамика в 2022 г. по сравнению с 2011 г.					
		выручки		численности ра- ботников		производительности труда	
		В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка
Год создания предприятия	2014 и позже	база		база		база	
	2009–2013	0,093	0,156	0,052	0,161	0,193	0,158
	2000–2008	–0,158	0,141	–0,229	0,145	0,007	0,142
	1992–1999	0,118	0,158	–0,312*	0,161	0,163	0,159
	1991 и ранее	0,338*	0,196	–0,536***	0,205	0,521***	0,202
Структура собственности	участие государства и/или государственных компаний	–0,395	0,542	–0,281	0,618	–0,409	0,587
	участие иностранных собственников	–0,354	0,469	–0,494	0,461	–0,361	0,480
Участие в интегрированной структуре (холдинге)		0,289*	0,170	0,197	0,172	0,124	0,172
Размер населенного пункта	менее 50 тыс. жителей	база		база		база	
	50–250 тыс. жителей	–0,041	0,165	0,206	0,173	–0,061	0,169
	250 тыс. — 1 млн жителей	0,027	0,164	0,044	0,169	–0,029	0,166
	свыше 1 млн жителей	–0,029	0,199	0,179	0,206	–0,089	0,202
Основные потребители	органы государственного и муниципального управления	–0,175	0,255	0,017	0,262	–0,300	0,259
	государственные компании	0,153	0,148	–0,017	0,153	0,163	0,151
	бюджетные организации	–0,389***	0,139	–0,080	0,143	–0,376***	0,142
	крупные и средние частные российские предприятия	–0,243**	0,124	–0,027	0,128	–0,178	0,125

Независимые переменные		Зависимые переменные: динамика в 2022 г. по сравнению с 2011 г.					
		выручки		численности ра- ботников		производительности труда	
		В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка	В	Ст. ошибка
Основные потреби- тели	малые россий- ские предприя- тия, индивиду- альные предпри- ниматели	0,028	0,109	-0,079	0,112	-0,098	0,110
	население	-0,324**	0,129	-0,306**	0,133	-0,071	0,130
	иностранные компании, дей- ствующие в России	-0,156	0,305	-0,113	0,316	-0,138	0,308
Импорт промежуточных това- ров и/или услуг		-0,038	0,121	-0,085	0,125	0,069	0,123
Импорт оборудования		0,477***	0,110	0,516***	0,113	0,021	0,111
Экспорт		-0,146	0,119	0,017	0,122	0,008	0,120
Отраслевая принадлежность		контроль					
Региональная принадлеж- ность		контроль					
Должность респондента		контроль					
χ^2		174,978***		164,372***		139,773***	
Псевдо R^2		0,115		0,111		0,096	
Число наблюдений		1620		1624		1568	

Примечания: * $0,05 \leq p < 0,1$; ** $0,01 \leq p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

5. Обсуждение результатов

Проведенный анализ подтвердил выдвинутую нами гипотезу о более активной роботизации крупных фирм после 2019 г. Фактически это означает, что шоки последних лет дополнительно усилили неоднократно отмечавшийся «цифровой разрыв» между крупными фирмами и МСП (см. [27]).

При этом российские крупные компании существенно опережают малый и средний бизнес отнюдь не только по уровню цифровизации, но и по обще-

му технологическому уровню, инвестиционной и инновационной активности, производительности труда, причем разрыв этот в России больше, чем в большинстве близких по уровню развития посткоммунистических стран¹. В це-

¹ Кузык М. Г., Ружанская Л. С., Симачев Ю. В., Федюнина А. А. МСП как драйвер структурных изменений в российской экономике: как раскрыть потенциал в условиях ограничений?: доклад на XXIV Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. 2023. URL: <https://clck.ru/3B5WXa>

лом «качество» и инновационность российского сектора МСП на фоне других стран является весьма низким [28].

Наряду с размером фирм значимым фактором их роботизации является импорт оборудования, что полностью согласуется с данными официальной статистики, согласно которым около 2/3 использовавшихся в 2021 г. промышленных и коллаборативных роботов были приобретены за рубежом¹.

Выявленная же отрицательная связь внедрения роботов после 2019 г. с экспортом, на наш взгляд, объясняется тем, что к роботизации традиционно сильнее всего тяготеют компании автомобилестроения и электронной промышленности² — отраслей, которые в России не демонстрируют высокой экспортной активности, тогда как экспортоориентированные отрасли (такие как металлургия и деревообработка) традиционно характеризуются низким уровнем роботизации.

Вторая из сформулированных нами гипотез подтвердилась частично — роботизированные компании в 2020 г. заметно отличались от прочих динамикой численности работников, тогда как для выручки и производительности труда подобная взаимосвязь не выявлена.

Таким образом, полученный нами результат фактически служит эмпирическим подтверждением ряда упомянутых выше экспертных свидетельств, согласно которым использование роботов в период коронакризиса позволяло компаниям обеспечить социальную дистанцию и безопасный режим работы и тем самым избежать увольнения работников или их ухода из-за вынужденного простоя.

¹ <https://publications.hse.ru/boks/786578954>

² https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf

Наконец, третья наша гипотеза не подтвердилась — в санкционном 2022 г. роботизация не являлась фактором положительной динамики ни одной из рассматриваемых характеристик.

С одной стороны, это может быть связано с коротким периодом наблюдений, с другой — данный результат в целом согласуется с отмеченным выше выводом Shinozaki [26] о неоднозначном характере взаимосвязи между цифровизацией фирм и их функционированием в условиях санкций. При этом важно заметить, что роботизация, автоматизация и в целом цифровизация производства, способствующие повышению его гибкости, могут выступать факторами адаптации фирм к санкциям (в частности, освоения ими выпуска импортозамещающей продукции [29]), однако какие-либо явные признаки реализации этой возможности в нашем исследовании не выявлены.

Рассматривая одновременно оба шока последних лет — ковидный и санкционный, следует особо отметить три момента.

Во-первых, ни в том, ни в другом случае мы не обнаружили положительной связи использования роботов с динамикой производительности труда. Однако это, вероятнее всего, является следствием специфики шоковых периодов и короткого (годового) горизонта соответствующих оценок. При этом на более длинном горизонте наблюдений есть немало эмпирических подтверждений положительного влияния роботизации на производительность труда, основанных на зарубежных данных (Graetz & Michaels [30]) и на данных по России (Федюнина и др. [31]).

Во-вторых, полученные нами результаты не подтвердили (по крайней мере, применительно к шокам 2020 и 2022 гг.) нередко звучащие в научной и экспертной среде прогнозы и оценки

в отношении существенного негативного влияния роботизации и автоматизации на занятость (примеры которых можно встретить, в частности, в работах Земцова [32], Урунова и Родиной [33]).

В-третьих, в ковидном 2020 и в санкционном 2022 гг. фактором позитивной динамики выручки и численности занятых стало использование компаниями импортного оборудования. Данный факт в сочетании с высокой зависимостью российских фирм именно от импорта оборудования, причем в существенной мере из недружественных стран (что показано, например, в недавнем докладе НИУ ВШЭ [34]) фактически означает, что подверженность российских компаний шокам, а, следовательно, и их устойчивость существенным образом определяются доступностью необходимого им зарубежного оборудования.

В данном контексте важно также заметить, что в большей степени зависимы от импорта успешные и эффективные компании — технологические лидеры и экспортеры. Это отмечается, в частности, в работе Simachev et al. [35].

Следует обратить внимание на ряд ограничений исследования.

В сферу проведенного анализа вошли компании исключительно обрабатывающей промышленности. Однако, как свидетельствуют данные и российской, и международной статистики, данная отрасль с большим отрывом лидирует в использовании роботов — неслучайно для сравнения уровня роботизации национальных экономик традиционно принято использовать показатель «плотности роботизации» именно обрабатывающей промышленности¹.

Доступные данные позволяют нам рассмотреть прохождение фирмами, по сути, лишь первой фазы санкцион-

ного шока — до конца 2022 г., тогда как ничуть не меньший интерес представляют вопросы адаптации фирм к санкционному давлению на более длительном горизонте. Соответствующий анализ видится нам важным направлением для развития настоящего исследования.

6. Заключение

Теоретическая значимость исследования состоит в полученных новых знаниях об особенностях адаптации российских фирм к шокам 2020 и 2022 гг. и роли роботизации в такой адаптации. Наибольшую практическую значимость, в том числе с позиций совершенствования государственной политики, на наш взгляд, имеют следующие результаты анализа.

Во-первых, выявленные нами на примере роботизации признаки усиления «технологического разрыва» между крупным бизнесом и МСП под влиянием шоков последних лет, вообще говоря, представляют собой крайне тревожный для российской экономики симптом. Дальнейшее отставание малого и среднего бизнеса в использовании роботов и иных типов передовых производственных технологий и в инновационном развитии в целом может еще более затруднить и без того крайне непростое для многих фирм взаимодействие с крупным бизнесом в рамках цепочек создания стоимости, а также сделать практически невозможным освоение передовых знаний и технологий.

Во-вторых, роботизация, безусловно, не являлась универсальным средством решения проблем бизнеса в периоды коронакризисного и санкционного шоков: если в 2020 г. использование роботов способствовало сохранению рабочих мест, то для 2022 г. какая-либо взаимосвязь между роботизацией фирм и успешностью их функционирования не выявлена. В целом использование роботов, как и других типов передовых про-

¹ <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robotics-race-korea-singapore-and-germany-in-the-lead>

изводственных технологий, способствует эффективному развитию фирм. Однако в условиях высоких барьеров для входа, слабой конкуренции и иных искажений, присущих многим российским рынкам, компании нередко оказываются слабо мотивированы к развитию, имея возможность длительное время пользоваться преимуществами закрытости рынков, устоявшихся связей с основными потребителями, близости к властям разных уровней и проч. В таких условиях роботизация, как и любые другие меры инновационного характера, оказываются для многих компаний далеко не главным средством успешного преодоления кризисов.

В-третьих, в каждом из рассматриваемых шоковых периодов значимым

фактором устойчивости российских фирм являлось использование ими импортного оборудования. Фактически это означает, что любые существенные ограничения (санкционные или иные) доступа к необходимому импорту неминуемо скажутся не только на эффективности фирм, причем в большей степени лидеров, чем отстающих, но и на их устойчивости к шокам. Поэтому парирование соответствующих угроз (будь то с помощью параллельного импорта, поиска аналогов в дружественных странах или создания собственных производств) должно являться едва ли не ключевым направлением политики государства в условиях нынешнего санкционного давления, особенно с учетом вероятного дальнейшего его усиления.

Список использованных источников

1. Шевченко А. В., Мещеряков П. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника // Проблемы управления. 2019. № 5. С. 3–18. <http://doi.org/10.25728/pu.2019.5.1>
2. Kyranini M., Lygerakis F., Rajavenkatanarayanan A., Sevastopoulos C., Nambiappan H. R., Chaitanya K. K., Babu A. R., Mathew J., Makedon F. A Survey of Robots in Healthcare // Technologies. 2021. Vol. 9, Issue 1. 8. <https://doi.org/10.3390/technologies9010008>
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016. 172 p. URL: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
4. Shen Y., Guo D., Long F., Mateos L. A., Ding H., Xiu Z., Hellman R. B., King A., Chen S., Zhang C., Tan H. Robots under COVID-19 pandemic: A comprehensive survey // IEEE Access. 2020. Vol. 9. Pp. 1590–1615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045792>
5. Абдулкадыров А. С., Маккаева П. С. Проблематика устойчивого развития цифрового предприятия в условиях экономических санкций // Журнал прикладных исследований. 2022. № 11. С. 647–650. https://doi.org/10.47576/2712-7516_2022_11_8_647
6. Дежина И. Г., Арутюнян А. Г., Гареев Т. Р., Раднабазарова С. Ж. и др. Новые страны в научно-технологической повестке России. Аналитический доклад. М.: Издательство «Перо», 2023. 225 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/373719635_Novye_strany_v_naucno-tehnologiceskoj_povestke_Rossii_Analiticskij_doklad_New_Countries_in_Science-Technology_Agenda_of_Russia
7. Khachaturyan A. A., Khachaturyan K. S., Evdokimov S. Y. The Problem of Ensuring the Sustainable Development of the Digital Enterprise in the Context of Economic Sanctions // Sustainable Development of Modern Digital Economy. Perspectives from Russian Experiences. Edited by J. V. Ragulina, A. A. Khachaturyan, A. S. Abdulkadyrov, Z. Sh. Babaeva. Springer Cham, 2021. Pp 243–251. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70194-9_24
8. Ганичев Н. А., Кошовец О. Б. Цифровая экономика России: к стратегии развития в условиях санкций // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6 (195). С. 94–108. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-195-94-108>

9. Злобина О. В., Пешкова Г. Ю. Перспективы автоматизации и цифровизации производства в условиях введения санкций // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 8–1. С. 66–73. <https://doi.org/10.17513/vaael.2347>

10. Chauhan A. Robotics and Automation: The Rescuers of COVID Era // Artificial Intelligence for COVID-19 / edited by D. Oliva, S. A. Hassan, A. Mohamed. Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 358. Springer Cham, 2021. Pp. 119–151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69744-0_8

11. Gupta A., Singh A., Bharadwaj D., Mondal A. K. Humans and Robots: A Mutually Inclusive Relationship in a Contagious World // International Journal of Automation and Computing. 2021. Vol. 18, Issue 2. Pp. 185–203. <https://doi.org/10.1007/s11633-020-1266-8>

12. Mehta I., Hsueh H. Y., Taghipour S., Li W., Saeedi S. UV disinfection robots: a review // Robotics and Autonomous Systems. 2023. Vol. 161. 104332. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104332>

13. Guettari M., Gharbi I., Hamza S. UVC disinfection robot // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28. Pp. 40394–40399. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11184-2>

14. Ruan K., Wu Z., Xu Q. Smart cleaner: A new autonomous indoor disinfection robot for combating the covid-19 pandemic // Robotics. 2021. Vol. 10, Issue 3. 87. <https://doi.org/10.3390/robotics10030087>

15. Zhao Z., Ma Y., Mushtaq A., Rajper A. M.A., Shehab M., Heybourne A., Song W., Ren H., Tse Z. T.H. Applications of robotics, artificial intelligence, and digital technologies during COVID-19: A review // Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 2022. Vol. 16, Issue 4. Pp. 1634–1644. <https://doi.org/10.1017/dmp.2021.9>

16. Murphy R. R., Gandudi V. B. M., Adams J. Applications of robots for COVID-19 response // arXiv. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.06976>

17. The Digital Transformation of SMEs. OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship. Paris: OECD Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1787/bdb9256a-en>

18. Кулага А. С. Влияние пандемии COVID-19 на процессы цифровизации малого бизнеса // Стратегии бизнеса. 2021. Т. 9, № 5. С. 149–152. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2021-5-149-152>

19. Bellmann L., Bourgeon P., Gathmann C., Gleiser P., Kagerl C., Kleifgen E., König C., Leber U., Marguerit D., Martin L., Pohlan L., Roth D., Schierholz M., Stegmaier J., Aminian A. The Pandemic Has Boosted Firm Investments in Digital Technologies. The Centre for Economic Policy Research (CEPR), 2021. URL: <https://voxeu.org/article/pandemic-has-boosted-firm-investments-digital-technologies>

20. Guo H., Yang Z., Huang R., Guo A. The digitalization and public crisis responses of small and medium enterprises: Implications from a COVID-19 survey // Frontiers of Business Research in China. 2020. Vol. 14, Issue 1. 19. <https://doi.org/10.1186/s11782-020-00087-1>

21. Riom C., Valero A. The business response to Covid-19: The CEP-CBI survey on technology adoption // A CEP Covid-19 Analysis. Paper No. 009. London: London School of Economics and Political Science, 2020. 22 p. URL: <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/cepccovid-19-009.pdf>

22. Yip T.-M., Lau W.-Y., Nambiar S. Has Digitalisation Mitigated the Impact of Covid-19 on the Manufacturing Sector's Performance? // Australasian Accounting, Business and Finance Journal. 2023. Vol. 17, Issue 2. Pp. 4–25. <http://dx.doi.org/10.14453/aabfj.v17i2.02>

23. Calza E., Lavopa A., Zagato L. Advanced digitalisation and resilience during the COVID-19 pandemic: firm-level evidence from developing and emerging economies // Industry and Innovation. 2023. Vol. 30, Issue 7. Pp. 864–894. <https://doi.org/10.1080/13662716.2023.2230162>

24. Asian Development Outlook 2022. Update. Entrepreneurship in the Digital Age. Manila: Asian Development Bank, 2022. <http://dx.doi.org/10.22617/FLS220405-3>

25. Cheratian I., Goltabar S., Farzanegan M. R. Firms persistence under sanctions: Micro-level evidence from Iran // The World Economy. 2023. Vol. 46, Issue 8. Pp. 2408–2431. <https://doi.org/10.1111/twec.13378>

26. *Shinozaki S.* Do Digitalization and Digital Finance Help Small Firms Survive Global Economic Uncertainty in Central and West Asia? Evidence from Rapid Surveys // Sustainability. 2023. Vol. 15, Issue 13. 10696. <https://doi.org/10.3390/su151310696>

27. *Кузык М. Г., Симачев Ю. В., Федюнина А. А.* Адаптация российских промышленных компаний к вызовам цифровой трансформации // Российская экономика в 2019 году. Тенденции и перспективы (Вып. 41) / под науч. ред. А. Л. Кудрина, А. Д. Радыгина, С. Г. Синельникова-Мурылева. М.: Издательство Института Гайдара, 2020. С. 499–513. URL: <https://www.iep.ru/files/text/trends/2019/2019.pdf>

28. *Барина В. А., Земцов С. П.* Международный сравнительный анализ роли малых и средних предприятий в национальной экономике: статистическое исследование // Вопросы статистики. 2019. Т. 26, № 6. С. 55–71. <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2019-26-6-55-71>

29. *Сычева К. Г.* Поддержка цифровизации импортозамещения России в санкционном контексте // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2022. № 3. С. 142–159. <https://doi.org/10.38050/01300105202238>

30. *Graetz G., Michaels G.* Robots at Work // The Review of Economics and Statistics. 2018. Vol. 100, Issue 5. Pp. 753–768. https://doi.org/10.1162/rest_a_00754

31. *Федюнина А. А., Городный Н. А., Симачев Ю. В.* Влияние роботизации на производительность промышленных предприятий в России // Российский журнал менеджмента. 2023. Т. 21, № 1. С. 66–88. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2023.104>

32. *Земцов С. П.* Роботы и потенциальная технологическая безработица в регионах России: опыт изучения и предварительные оценки // Вопросы экономики. 2017. № 7. С. 142–157. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-7-142-157>

33. *Урунов А. А., Родина И. Б.* Влияние искусственного интеллекта и интернет-технологий на национальный рынок труда // Фундаментальные исследования. 2018. № 1. С. 138–142. <https://doi.org/10.17513/fr.42064>

34. *Симачев Ю. В., Яковлев А. А., Голикова В. В., Городный Н. А., Кузнецов Б. В., Кузык М. Г., Федюнина А. А.* Российские промышленные компании в условиях «второй волны» санкционных ограничений: стратегии реагирования // Вопросы экономики. 2023. № 12. С. 5–30. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-12-5-30>

35. *Simachev Y., Kuzyk M., Zudin N.* Import Dependence and Its Substitution in the Russian Manufacturing: Business Viewpoint // Foresight and STI Governance. 2016. Vol. 10, No. 4. Pp. 25–45. <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.4.25.45>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузык Михаил Георгиевич

Кандидат экономических наук, заместитель директора Центра исследований структурной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2971-6718> e-mail: mkuzyk@hse.ru

Сергеева Кира Петровна

Стажер-исследователь Центра исследований структурной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20); ORCID <https://orcid.org/0009-0004-4983-2497> e-mail: kpsergeeva@edu.hse.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в ходе реализации проекта № 22-00-065 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2023 г.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Кузык М. Г., Сергеева К. П. Роботизация как фактор адаптации российских фирм к внеэкономическим шокам // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 2. С. 522–550. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.2.021>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 9 ноября 2023 г.; дата поступления после рецензирования 12 января 2024 г.; дата принятия к печати 23 февраля 2024 г.

Robotization as a Factor of Russian Firms' Adaptation to Non-Economic Shocks

Mikhail G. Kuzyk  , Kira P. Sergeeva 

National Research University Higher School of Economics,

Moscow, Russia

 mkuzyk@hse.ru

Abstract. Robotization and automation of various industries is one of the main technological trends of the past decade. However, the contribution of robotization to firms' success in the COVID-19 crisis has been far from fully explored to date. In addition, there is a lack of empirical studies on the impact of robotics on companies' operation under the shock of the sanctions of 2022. The article is devoted to the analysis of factors and effects of robotization of Russian manufacturing companies in the context of recent shocks. Three hypotheses are put forward to be empirically tested: (1) in the pandemic and post-pandemic period, robotization was more characteristic of large businesses than of small and medium-sized firms; (2) firms that used robots overcame the crisis more successfully; (3) robotized firms performed better under the 2022 sanctions. The research approach consists of the empirical analysis (through regression modeling) of data from a survey of 1,900 Russian manufacturing companies' CEOs conducted in the second half of 2022. The authors found a positive relationship between robot adoption after 2019 and the business size. It is shown that in the COVID-19 crisis robotization was an important factor in preserving employment. The authors also found a significant positive relation between the success of companies in passing the COVID-19 and sanctions shocks and their use of imported equipment. The study provides new insights into the factors of Russian firms' robotization in the pandemic and post-pandemic period, as well as the specifics of their adaptation to shocks in 2020 and 2022. From a practical point of view, the most important results are the evidence obtained on the widening digital divide between SMEs and large firms, as well as on the contribution of the use of imported capital goods to the resiliency of Russian firms.

Key words: robotization; robots; Russian companies; manufacturing; COVID-19 crisis; sanctions.

JEL D22, O14, O33

References

1. Shevchenko, A.V., Meshcheryakov, R.V., Migachev A. N. (2019). Review of the World Market of Agriculture Robotics. Part 1. Unmanned Vehicles for Agriculture. *Control Sciences*, No. 5, 3–18. (In Russ.). <http://doi.org/10.25728/pu.2019.5.1>
2. Kyrarini, M., Lygerakis, F., Rajavenkatanarayanan, A., Sevastopoulos, C., Nambiappan, H.R., Chaitanya, K.K., Babu, A.R., Mathew, J., Makedon, F. (2021). A Survey of Robots in Healthcare. *Technologies*, Vol. 9, Issue 1, 8. <https://doi.org/10.3390/technologies9010008>
3. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva, World Economic Forum, 172 p. Available at: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The-Fourth-Industrial-Revolution-Klaus_S.pdf
4. Shen, Y., Guo, D., Long, F., Mateos, L.A., Ding, H., Xiu, Z., Hellman, R.B., King, A., Chen, S., Zhang, C., Tan, H. (2020). Robots under COVID-19 pandemic: A comprehensive survey. *IEEE Access*, Vol. 9, 1590–1615. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045792>

5. Abdulkadyrov, A.S., Makkaeva, R.S. (2022). The issue of sustainable development of the digital Enterprise in the context of economic sanctions. *Journal of Applied Research*, No. 11, 647–650. (In Russ.). https://doi.org/10.47576/2712-7516_2022_11_8_647
6. Dezhina, I.G., Arutyunyan, A.G., Gareev, T.R., Radnabazarova, S.Zh. et al. (2023). *New Countries in Science-Technology Agenda of Russia*. Analytical report. Moscow, Publishing House Pero, 225 p. (In Russ.). Available at: https://www.researchgate.net/publication/373719635_Novye_strany_v_naucno-tehnologiceskoj_povestke_Rossii_Analiticeskij_doklad_New_Countries_in_Science-Technology_Agenda_of_Russia
7. Khachaturyan, A.A., Khachaturyan, K.S., Evdokimov, S.Y. (2021). The Problem of Ensuring the Sustainable Development of the Digital Enterprise in the Context of Economic Sanctions. In: *Sustainable Development of Modern Digital Economy. Perspectives from Russian Experiences*. Edited by J. V. Ragulina, A. A. Khachaturyan, A. S. Abdulkadyrov, Z. Sh. Babaeva. Springer Cham, 243–251. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70194-9_24
8. Ganchev, N.A., Koshovets, O.B. (2022). Rethinking Russian Digital Economy Development Under Sanctions. *Studies on Russian Economic Development*, Vol. 33, No. 6, 644–654. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1075700722060041>
9. Zlobina, O.V., Peshkova, G.Yu. (2022). Prospects of production automation and digitization in view of economic sanctions. *Journal of Altai Academy of Economics and Law*, No. 8–1, 66–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/vaael.2347>
10. Chauhan, A. (2021). Robotics and Automation: The Rescuers of COVID Era. In: *Artificial Intelligence for COVID-19*. Edited by D. Oliva, S. A. Hassan, A. Mohamed. Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 358. Springer Cham, 119–151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69744-0_8
11. Gupta, A., Singh, A., Bharadwaj, D., Mondal, A.K. (2021). Humans and Robots: A Mutually Inclusive Relationship in a Contagious World. *International Journal of Automation and Computing*, Vol. 18, Issue 2, 185–203. <https://doi.org/10.1007/s11633-020-1266-8>
12. Mehta, I., Hsueh, H.Y., Taghipour, S., Li, W., Saedi S. (2023). UV disinfection robots: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 161, 104332. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104332>
13. Guettari, M., Gharbi, I., Hamza, S. (2021). UVC disinfection robot. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28, 40394–40399. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11184-2>
14. Ruan, K., Wu, Z., Xu, Q. (2021). Smart cleaner: A new autonomous indoor disinfection robot for combating the covid-19 pandemic. *Robotics*, Vol. 10, Issue 3, 87. <https://doi.org/10.3390/robotics10030087>
15. Zhao, Z., Ma, Y., Mushtaq, A., Rajper, A.M.A., Shehab, M., Heybourne, A., Song, W., Ren, H., Tse, Z.T.H. (2022). Applications of robotics, artificial intelligence, and digital technologies during COVID-19: A review. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, Vol. 16, Issue 4, 1634–1644. <https://doi.org/10.1017/dmp.2021.9>
16. Murphy, R.R., Gandudi, V.B.M., Adams, J. (2020). Applications of robots for COVID-19 response. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.06976>
17. OECD. (2021). *The Digital Transformation of SMEs*. OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship. Paris, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/bdb9256a-en>
18. Kulaga, A.S. (2021). Impact of the covid-19 pandemic on the digitalization of small businesses. *Business Strategies*, Vol. 9. Issue 5, 149–152. (In Russ.). <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2021-5-149-152>
19. Bellmann, L., Bourgeon, P., Gathmann, C., Gleiser, P., Kagerl, C., Kleifgen, E., König, C., Leber, U., Marguerit, D., Martin, L., Pohlen, L., Roth, D., Schierholz, M., Stegmaier, J., Aminian, A. (2021). *The Pandemic Has Boosted Firm Investments in Digital Technologies*. The Centre for Economic Policy Research (CEPR). Available at: <https://voxeu.org/article/pandemic-has-boosted-firm-investments-digital-technologies>

20. Guo, H., Yang, Z., Huang, R., Guo, A. (2020). The digitalization and public crisis responses of small and medium enterprises: Implications from a COVID-19 survey. *Frontiers of Business Research in China*, Vol. 14, Issue 1, 19. <https://doi.org/10.1186/s11782-020-00087-1>
21. Riom, C., Valero, A. (2020). The business response to Covid-19: The CEP-CBI survey on technology adoption. *A CEP Covid-19 Analysis*. Paper No. 009. London, London School of Economics and Political Science, 22 p. Available at: <https://cep.lse.ac.uk/pubs/download/cep-covid-19-009.pdf>
22. Yip, T.-M., Lau, W.-Y., Nambiar, S. (2023). Has Digitalisation Mitigated the Impact of Covid-19 on the Manufacturing Sector's Performance? *Australasian Accounting, Business and Finance Journal*, Vol. 17, Issue 2, 4–25. <http://dx.doi.org/10.14453/aabfj.v17i2.02>
23. Calza, E., Lavopa, A., Zagato, L. (2023). Advanced digitalisation and resilience during the COVID-19 pandemic: firm-level evidence from developing and emerging economies. *Industry and Innovation*, Vol. 30, Issue 7, 864–894. <https://doi.org/10.1080/13662716.2023.2230162>
24. Asian Development Bank. (2022). *Asian Development Outlook 2022. Update*. Entrepreneurship in the Digital Age. Manila, Asian Development Bank. <http://dx.doi.org/10.22617/FLS220405-3>
25. Cheratian, I., Goltabar, S., Farzanegan, M.R. (2023). Firms' persistence under sanctions: Micro-level evidence from Iran. *The World Economy*, Vol. 46, Issue 8, 2408–2431. <https://doi.org/10.1111/twec.13378>
26. Shinozaki, S. (2023). Do Digitalization and Digital Finance Help Small Firms Survive Global Economic Uncertainty in Central and West Asia? Evidence from Rapid Surveys. *Sustainability*, Vol. 15, Issue 13, 10696. <https://doi.org/10.3390/su151310696>
27. Kuzyk, M.G., Simachev, Yu.V., Fedyunina, A.A. (2020). Adaptation of Russian industrial companies to the challenges of digital transformation. In: *Russian Economy in 2019. Trends and outlooks. (Issue 41)*. Edited by A. L. Kudrin, A. D. Radygin, S. G. Sinelnikov-Murylev. Moscow, Gaidar Institute Publishers, 471–484. (In Russ.). Available at: <https://www.iep.ru/files/text/trends/2019-eng/Book.pdf>
28. Barinova, V.A., Zempsov, S.P. (2019). International Comparative Analysis of the Role of Small and Medium-Sized Enterprises in the National Economy: A Statistical Study. *Voprosy Statistiki*, Vol. 26, No. 6, 55–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2019-26-6-55-71>
29. Sycheva, K.G. (2022). Support for digitalization of Russian import substitution in the context of sanctions policy. *Moscow University Economic Bulletin*, Issue 3, 142–159. (In Russ.). <https://doi.org/10.38050/01300105202238>
30. Graetz, G., Michaels, G. (2018). Robots at Work. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 100, Issue 5, 753–768. https://doi.org/10.1162/rest_a_00754
31. Fedyunina, A.A., Gorodny, N.A., Simachev, Y.V. (2023). The impact of robotization on productivity of manufacturing firms in Russia. *Russian Management Journal*, Vol. 21, No. 1, 66–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu18.2023.104>
32. Zemtsov, S. (2017). Robots and potential technological unemployment in the Russian regions: Review and preliminary results. *Voprosy Ekonomiki*, No. 7, 142–157. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-7-142-157>
33. Urunov, A.A., Rodina, I.B. (2018). Influence of artificial intelligence and the internet-technologies on national labor market. *Fundamental Research*, No. 1, 138–142. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/fr.42064>
34. Simachev, Yu.V., Yakovlev, A.A., Golikova, V.V., Gorodnyi, N.A., Kuznetsov, B.V., Kuzyk, M.G., Fedyunina, A.A. (2023). Russian industrial companies under the “second wave” of sanctions: Response strategies. *Voprosy Ekonomiki*, No. 12, 5–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-12-5-30>
35. Simachev, Y., Kuzyk, M., Zudin, N. (2016). Import Dependence and Its Substitution in the Russian Manufacturing: Business Viewpoint. *Foresight and STI Governance*, Vol. 10, No. 4, 25–45. <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.4.25.45>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Mikhail Georgievich Kuzyk

Candidate of Economic Sciences, Deputy Director of Centre for Industrial Policy Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia (101000, Moscow, Myasnitskaya street, 20); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2971-6718> e-mail: mkuzyk@hse.ru

Kira Petrovna Sergeeva

Research Intern, Centre for Industrial Policy Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia (101000, Moscow, Myasnitskaya street, 20); ORCID <https://orcid.org/0009-0004-4983-2497> e-mail: kpsergeeva@edu.hse.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The publication was prepared within the framework of the Academic Fund Program at the HSE University in 2023 (grant № 22–00–065).

FOR CITATION

Kuzyk, M.G., Sergeeva, K.P. (2024). Robotization as a Factor of Russian Firms' Adaptation to Non-Economic Shocks. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 2, 522–550. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.2.021>

ARTICLE INFO

Received November 9, 2023; Revised January 12, 2024; Accepted February 23, 2024.

