

О. С. Сухарев

Институт экономики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

## Цифровизация и направления технологического обновления промышленности России

**Аннотация.** «Технологическая индустриализация» российской экономики является одной из наиболее значимых стратегических задач. Исследование посвящено анализу влияния цифровизации на технологическое обновление промышленности. Методологическая основа представлена теорией индустриального развития и реструктуризации экономики. Применены методы таксономического, сравнительного, регрессионного анализа. Посредством выделения этапов эволюции производственных технологий по критерию уровня автоматизации, а также классификации видов технологий по объектам показано, что цифровые технологии являются лишь частью относительно широкого класса производственных технологий. Задача технологической индустриализации сведена к обновлению средств производства в промышленности. Однако в ходе исследования выявлено, что вводу цифровых технологий в промышленность может быть свойствен «парадокс производительности», и, более того, он оказывается шире, когда замещение одного класса технологий не позволяет существенно повысить технологичность промышленного производства, значимо увеличить выпуск высокотехнологичной продукции, что продемонстрировано на примере машиностроительного и сырьевого секторов. Представлена разработанная автором методика анализа динамики распространения цифровых технологий; на ее основе показана положительная динамика охвата объектов цифровизации при менее очевидных успехах в области программного обеспечения, создания и применения различных информационных технологий, при незначительной динамике в сфере передовых, абсолютно новых технологий, не обеспечивающей существенный рост технологичности. Результатом проведенного анализа выступает выявленный «технологический дуализм» нового свойства, когда успехи внедрения определенной технологии (цифровой) и даже роста передовых технологий происходят в таком сегменте и обозначенном ресурсами диапазоне, что значительного выхода инновационной, высокотехнологичной продукции не наблюдается.

**Ключевые слова:** технологическое обновление; цифровые технологии; технологическая эволюция; промышленность; эффект «2-Д»; замещение технологий; технологическая индустриализация; компьютерные технологии; коммуникационные сети.

**Для цитирования:** Сухарев О. С. (2021). Цифровизация и направления технологического обновления промышленности России // Journal of New Economy. Т. 22, № 1. С. 26–52. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-1-2

**Дата поступления:** 17 июля 2020 г.

Oleg S. Sukharev Institute of Economics of RAS, Moscow, Russia

## Digitalisation and thrusts of the technological modernisation in the Russian industry

**Abstract.** Technological industrialisation of the economy remains one of Russia's most important strategic objectives. The research explores the impact of digital technologies on the technological renewal of the industry. Methodologically, the study relies on the theory of industrial development and economic restructuring and adopts the methods of taxonomic, comparative, and regression analysis. The author identifies the stages in the evolution of production technologies by the criterion of the level of automation, classifies types of technologies by the objects, and thus demonstrates that digital technologies represent only a small part of a relatively wide class of production technologies. The goal of the technological industrialisation is reduced to the renewal of the means of production in industry. Yet the research finds that the introduction of digital technologies into industry may face the "productivity paradox", and moreover, the paradox appears to be greater when the replacement of one class of technologies does not significantly improve the manufacturability of industrial production as well as considerably increase the output of high-tech products, which the study proves by considering the case of the mechanical engineering and raw materials sectors. The author presents the methodology developed to examine the dynamics of the spread of digital technologies. The findings point to the positive dynamics of the coverage of digitalisation objects, while also indicate less obvious successes in the field of software, creation and use of various information technologies, modest dynamics in advanced technologies that does not provide a substantial increase in manufacturability. The results of analysis reflect the technological dualism of a new kind, when positive achievements in introduction of certain (digital) technologies and even growth in leading-edge technologies occurs in such a segment and a range limited by resources that there is no increased output of innovative, high-tech products.

**Keywords:** technological modernisation; digital technologies; technological evolution; industry; 2-D effect; technology substitution; technological industrialisation; computer technology; communication networks.

**For citation:** Sukharev O. S. (2021). Tsifrovizatsiya i napravleniya tekhnologicheskogo obnoveniya promyshlennosti Rossii [Digitalisation and thrusts of the technological modernisation in the Russian industry]. *Journal of New Economy*, vol. 22, no. 1, pp. 26–52. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-1-2

**Received July 17, 2020**

### Введение

На протяжении последних десятилетий в качестве составляющих основного стратегического вектора развития российской экономики рассматривались научно-технический прогресс и обрабатывающие секторы, для приоритета которых относительно иных видов деятельности (транзакционной и сырьевой) требовались коренные изменения экономической политики [Львов, 2002; Абалкин, 2005; Татаркин, 2014, 2015; Глазьев, 2017]. К исходу первого десятилетия XXI в. после дискуссий об инновационном развитии возникла проблема, оформившаяся в ходе укрепившейся сырьевой модели роста, деиндустриализации экономики России, закономерно породив базисные работы по

новой формуле развития и индустриализации [Губанов, 2014]<sup>1</sup>. Однако на протяжении последнего времени ведутся исследования, объектом которых выступает организация новой модели роста российской экономики за счет проведения новой индустриализации [Силин, Анимица, Новикова, 2019]. Обширен объем публикаций по проблемам внедрения «Индустрии 4.0», характеризующей новый этап технологического развития за счет распространения цифровых технологий [Castelo-Branco, 2019; Lu, 2019; Philbeck, Davis, 2019], причем воспринимать четвертую промышленную революцию и доктрину «Индустрия 4.0» как идентичные явления не совсем верно [Philbeck, Davis, 2019], так как передовые производственные технологии представляют собой более широкий набор технологий, нежели используемые в них цифровые технологии<sup>2</sup>.

Влияние цифровых технологий на развитие различных аспектов производства и экономики продолжает изучаться по мере расширения сферы их применения [Machado et al., 2019; Li et al., 2020]. Этот процесс изменяет бизнес-среду, но его результативность зависит от исходной готовности компаний к вводу таких технологий, включая готовность по выделяемым ресурсам и технологической инфраструктуре [Raj et al., 2020].

<sup>1</sup> В указанной работе профессор С. С. Губанов обобщает свои прежние публикации с 2000-х гг., начиная со статьи по развитию станкостроения 2000 г., и формирует своеобразный план новой индустриализации. Инициированная журналом «Экономист» в период 2007–2010 гг. дискуссия по новой индустриализации вылилась затем в массив научных и публицистических работ по указанной тематике, которые здесь не перечисляются по причине значительного их числа. Автор принимал участие в этой дискуссии, выпустил книгу «Экономика технологического развития» (2008), развивающую идеи его книги «Экономическая методология и политика реструктуризации промышленности» (2000). Нужно отметить, что в начале 2000-х гг., до следующей волны приватизации, состояние промышленности России не воспринималось многими исследователями как деиндустриализация, и можно было решать задачи оживления промышленного производства и его реструктуризации. К 2009–2011 гг. в обороте российских ученых появляется термин «деиндустриализация», трактовка которого сводится к росту доли услуг в ВВП и снижению доли обрабатывающих секторов. Однако для российской экономики деиндустриализация, помимо указанного и принятого обозначения, приобретает более широкий контекст, отраженный в работах автора 2010–2012 гг. как эффект «2-Д», т. е. деиндустриализации, которая рассматривается не только как снижение технологичности производства и упрощение выпускаемых изделий, увеличение доли промышленного импорта, разрыв внутреннего рынка промышленных товаров, но и как снижение квалификации (деквалификация) персонала, занятого в промышленном производстве. Подробнее количественные показатели деиндустриализации можно посмотреть в работах автора [Сухарев, 2011, с. 82–92; Сухарев, 2012, с. 25; Сухарев, 2020], а типы деиндустриализации и индустриализации – в работе «Теория реструктуризации экономики» (Москва: Ленанд, 2016). Частые отсылки к так называемому эффекту «4-Д», без обращений к его источнику – эффекту «2-Д», говорят лишь о поверхностном изучении работ по указанной тематике за рассматриваемое время. Именно из позиций обозначения эффекта «2-Д» позже были введены дополнительно еще две буквы «д», что открыто признается С. Д. Бодруновым [2014]. Принципиально лишь то, что деиндустриализация в России охватила технологический базис, а не только выражалась в сокращении доли промышленности в ВВП. Если бы такой процесс снижения доли происходил одновременно с ростом технологичности (как в развитых странах), это не представляло бы угрозы для развития экономики. Однако помимо деградации технологий наблюдалась и деквалификация. Поэтому обозначение «2-Д» усиливает процесс деиндустриализации, так как происходит деквалификация персонала при снижении технологического уровня, упрощении производства и т. д. [Сухарев, 2011].

<sup>2</sup> Забегая вперед, хотел бы отметить, что часто экономисты ошибаются, полагая, что роботы – это исключительно некая фаза развития цифровых технологий. Они не утруждают себя вниманием к тому, что первые роботы, как и автоматы, работали на аналоговых схемах обработки информационного сигнала, как и аналоговые вычислительные машины, представляющие собой не что иное, как предтечи современного компьютера. В данном исследовании будут обозначены этапы эволюции технологий в производстве, показывающие момент появления и затем распространения цифровых технологий. Цифровые технологии включают собственно оцифровку информационного сигнала, облачные вычисления, интернет вещей, работу с большими данными. Они существенно облегчают передачу, хранение, обработку, анализ информации, применяются в системах управления новыми производственными технологиями, но подавляющее большинство из них, являясь их элементом (часто инфраструктурным), подменить их не могут по природе [Попов, Сухарев, 2018a].

В связи с тем, что готовность отличается, распространение цифровых технологий явно неоднородно, что повышает издержки их использования и адаптации. Интернет вещей, анализ больших данных, цифровые платформы и облачные сервисы влияют на экономические показатели динамики, но это влияние опосредуется многими иными факторами и не является однозначным. В ряде исследований отмечается отсутствие единой концепции цифрового производства в рамках доктрины «Индустрия 4.0» [Ribeiro da Silva et al., 2019], по крайней мере, на уровне целей и методов достижения, что затрудняет преодоление множества проблем, возникающих при распространении цифровых технологий в производстве. В частности, большие ожидания, что цифровые технологии обеспечат значительное увеличение производительности в промышленности, элиминируются не только так называемым «компьютерным парадоксом»<sup>1</sup> Роберта Солоу [Solow, 1987], но и прикладными работами, показывающими, что интеграция цифровых технологий, замещающих аналоговые технологии, в производстве не приводит к ощутимому росту производительности [Horvat et al., 2019].

В связи с парадоксом Солоу возникло большое число исследований [Bowen, 1986; Strassman, 1990; Triplett, 1999; Macdonald, 2000; Дементьев, 2017; Скрипкин, 2015]. Однако даже они расходятся в оценках указанного эффекта, либо сводя его к неточностям измерений вклада информационных технологий в производительность, а также к недоучету повышения эффективности управления, либо пренебрегая ростом транзакционных издержек и увеличением человеческого капитала. Особая проблема – это продолжающийся рост инвестиций в компьютерные технологии при отсутствии роста производительности. Причем в общей доле затрат бизнеса затраты на компьютерные технологии всего за тринадцать лет после публикации Р. Солоу возросли более чем в 2,5 раза [Strassman, 1990]. В настоящее время они продолжают увеличиваться, причем способствуют этому доктрина «Индустрия 4.0» и принимаемые в ее рамках программы распространения цифровых технологий. Для внедрения цифровых технологий (а компьютеры выступают одним из основных элементов, базирующихся на цифровой технологии, они же формируют и сети, т. е. коммуникацию и применение иных технологий передачи и обработки данных) также может оказаться справедливым «парадокс производительности» [Татаркин и др., 2017; Попов, Сухарев, 2018b; Сухарев, 2011, 2012, 2020]. Это можно объяснить несколькими причинами.

<sup>1</sup> Согласно этому парадоксу, компьютеризация и программируемая автоматизация производства не смогли повысить производительность американской промышленности в эпоху деиндустриализации, когда возрастает доминирование услуг. Таким образом, роста эффективности в процессе технологического прогресса не наблюдалось. Такой результат явился для многих неожиданным, парадоксальным, но его продолжают не принимать во внимание и при разработке программ ввода цифровых технологий, например, в современной России, для экономики которой актуальна задача «технологической индустриализации» – повышения общего технологического уровня. Цифровые технологии могут обеспечить «парадокс Солоу», поскольку компьютеры являются носителями цифровой технологии, но проблема еще более серьезная: они могут не привести не только к росту производительности, но и к повышению самого технологического уровня, если при продолжающейся деиндустриализации российской экономики цифровизации будет подлежать остающаяся часть обрабатывающих секторов, с узкими задачами и сжатыми рынками. Более того, имеет значение и то, с помощью каких средств и ресурсов происходит ввод цифровых технологий, кто производит компьютеры, роботы, датчики, сенсорные устройства, коммуникационные линии, оборудование, программное обеспечение, платформы и другие элементы и виды информационных технологий. Если эти компоненты, включая программное обеспечение, поставляются в страну по импорту либо производятся по отверточной технологии (приобретением лицензии на производство за рубежом), то явно воспроизводится «внешняя модель цифровизации». Такая модель зависимая, не позволяет стране выстроить контур от средств производства до объектов применения цифровой технологии, сужает возможности технологического развития.

Во-первых, рост издержек на ввод базисных элементов, реализующих цифровые технологии, может обгонять темп производительности даже касательно обработки информации, т. е. непосредственно объекта, который затрагивают и на который обращены указанные цифровые технологии. Это будет блокировать рост производительности или понижать ее в конечном счете. Иные передовые технологии могут и не предполагать использования цифровой технологии либо задействуют цифровые технологии, но являющиеся одной из составных технологических частей, тем более что рост затрат по вводу цифровых элементов может быть несоразмерен с масштабом применения базовых передовых производственных технологий. Более того, для некоторого их набора столь хорошо обработанная информация и не требуется, что ограничивает полезность цифровой технологии как таковой. Тем самым инфраструктурное назначение многих элементов, выступающих объектами применения такой технологии, служит объективным ограничителем использования передовых производственных технологий. Внедрение аддитивных технологий зависит от состояния исходной технологической базы и готовности производства, в том числе людей.

Во-вторых, затраты на обучение персонала и адаптацию к новым технологиям (исполняющим и инфраструктурную функцию), преодоление деквалификации наравне с деиндустриализацией в виде эффекта «2-Д» [Сухарев, 2011, 2012, 2020] являются фактором торможения роста производительности по совокупности внедряемых технологий, включая цифровые.

В-третьих, имеет значение масштаб рынка промышленных и потребительских товаров, составляющих основу для внедрения цифровых и других производственных технологий, формирующих спрос на технологическое обновление. Какой объем электронной продукции широкого потребления, предполагающей использование цифровой технологии, разрабатывается и производится в стране самостоятельно, создается ли операционная система для компьютеров собственного производства и в каком объеме? Эти аспекты составляют квинтэссенцию развития цифровой технологии и индустрии [Попов, Сухарев, 2018b]. Более того, состояние средств производства (фондовой базы промышленности) задает объем работ по цифровизации промышленности. Может оказаться так, что информационная инфраструктура развертывается на цифровых технологиях, но основные фонды явно отстают – возникает очевидный технологический перекос, порождающий конфликт инфраструктуры и собственно производства.

Автоматизация производства на основе цифровых технологий может дать положительный эффект в области производительности только тогда, когда ей удастся повысить эффективность всего спектра применяемых производственных технологий, отвечающих за выпуск годных изделий (параметры качества и др.). Дело в том, что цифровые технологии выступают только частью передовых производственных технологий, развитие которых в производстве происходит поэтапно по мере того, как ширится масштаб применения этих новых передовых технологий. Они отвечают за определенный технологический сегмент и целиком гарантировать совершенствование или получение передовых производственных технологий не могут.

Цель статьи – исследование динамики ввода цифровых технологий в промышленности России посредством оценки того, как этот процесс согласуется с изменением уровня технологичности обрабатывающих производств, на основе доступной статистики. Для проведения итогового анализа решим следующие задачи его теоретико-методического обеспечения. Сформулируем основные теоретические позиции исследования



«технологической индустриализации»<sup>1</sup>, под которой понимаем повышение технологического уровня обрабатывающих производств без увеличения их доли в валовом внутреннем продукте (классический вариант индустриализации). Представим схему технологической эволюции производства (с выделением основных этапов), определим место и сферу применения цифровых технологий в этой эволюции, что позволит оформить положения методики анализа процесса технологического замещения – перехода на использование цифровых технологий. Завершим исследование анализом эмпирических данных распространения цифровых технологий в промышленности, сопоставляя эту динамику с изменением технологического уровня производства. Это позволит в общих чертах оценить влияние цифровых технологий на технологическое обновление российской промышленности при проведении «технологической индустриализации» на текущем интервале технологических изменений.

### Теоретические позиции для исследования проблем индустриализации

В исследовании промышленности как базовой отрасли материального производства, генерирующей и потребляющей высшие научно-технические достижения, воплощаемые в средствах производства, весомое значение имеют теория размещения факторов производства, их эффективности и метод структурного анализа, позволяющий выявить происходящие сдвиги в секторальной индустриальной структуре. Сегодня стало модным использовать различные модели<sup>2</sup>, например агент-ориентированные либо синергетические и эволюционные<sup>3</sup>, метод «затраты – выпуск», который нечасто выбирается отдельными исследователями в силу высокой трудоемкости в сравнении с иными моделями, применение которых по силам одному человеку. Однако теории эффективности факторов производства или структурной динамики, индустриального развития или реструктуризации имеют незаслуженно меньшую привлекательность по сравнению с названными выше модными моделями, хотя они формируют общий концепт не только для исследования условий и факторов развития промышленного производства, но и для управления им. Отдельно построенные модели отличаются существенной ограниченностью в этом смысле.

Обобщая сказанное, отметим, что теоретические позиции относительно исследования развития промышленности предполагают совместное применение теории размещения и эффективности факторов производства, индустриального развития и реструктуризации, в рамках которых возможны построение и реализация различных моделей вспомогательного назначения. Анализ текущего состояния промышленности и оценка условий ее развития на базе указанных теоретических подходов позволят сформулировать тип индустриализации и выбрать наиболее приемлемую модель

<sup>1</sup> Термин «технологическая индустриализация» равнозначен применяемому термину «реиндустриализация» (см. [Сухарев, 2020], а также ранние работы автора). Технологический аспект в деиндустриализации самый центральный, поэтому и термин «технологическая индустриализация» наиболее точно отражает решаемую задачу повышения общего технологического уровня и эффективности. Конечно, следует принимать во внимание, что повышение этого уровня при сжатых возможностях промышленности, без увеличения ее доли в ВВП может оказаться объективно ограниченным, а ввод цифровых технологий требует изменения технологического базиса функционирования многих отсталых производств, на что необходимы ресурсы. Причем само технологическое обновление не должно быть самоцелью, как не должно быть и ввода цифровых технологий ради них самих. Эти аспекты подчинены общим стратегическим задачам развития производства, промышленных рынков внутри страны, уровня конкурентоспособности и т. д.

<sup>2</sup> Данная мода, на взгляд автора, обусловлена желанием исследователя выделиться, но отнюдь не стремлением решить проблему или задачу.

<sup>3</sup> Автор применял последние два типа на основе подхода Б. Занга [1999].

ее проведения. Для российской экономики, характеризующейся весомым отставанием в уровне технологичности, наиболее адекватной такой моделью выступает именно «технологическая индустриализация» [Сухарев, 2020]. Однако с учетом фрагментарности промышленности России потребуются и восстановление отдельных видов деятельности и даже секторов, т. е. проведение так называемой новой индустриализации [Губанов, 2014]. Иными словами, можно говорить о некоей смешанной модели индустриализации, где акцент на технологическое перевооружение является всё-таки центральным.

В теоретическом смысле для исследования проблем индустриализации полезны различные методы:

- оценка состояния фондов и динамики их обновления;
- анализ кадрового потенциала промышленности;
- анализ различных видов инфраструктуры, включая информационную, в формировании которой основной вклад вносят как раз цифровые технологии;
- оценка эффективности институционального окружения (в том числе налоговой системы), институтов развития, включая программы различного уровня;
- анализ развития научной и технологической базы промышленности;
- оценка производственно-аппаратной структуры;
- оценка структуры рынков промышленной и потребительской продукции, их емкости, состояния и перспектив.

Только такой минимальный набор видов анализа будет более или менее достаточным и адекватным при дальнейшей постановке задач развития и проектировании мер промышленной политики.

Таким образом, ввод цифровых технологий является лишь элементом задачи технологической модернизации промышленности России, так как эти технологии составляют не более некоторой части от общего набора применяемых производственных технологий (включая утраченные), создающих базу средств производства в промышленности.

В одной из работ автора приведена развернутая классификация всех применяющихся типов технологий<sup>1</sup>. Исходя из нее цифровые технологии не имеют довлеющего значения на технологической карте – они выступают, если угодно, в виде промежуточной технологии, способной обеспечить инфраструктуру для управления и реализации иных технологий, но не могут автоматически обеспечить разработку иных производственных технологий. Связь цифровой техники, встроенной в действующие технологические цепочки, и возможностей их совершенствования требует дополнительных исследований. При этом отдельные виды приборов, основанные исключительно на цифровой технологии, дают большие возможности познания (выше разрешающая способность и возможность анализировать и т. д.). В связи с этим технологическая индустриализация российской экономики – это не только распространение цифровых технологий и объектов, которые их реализуют (компьютеров, датчиков, роботов, сетей и т. д.). Это и замена функционирующего технологического базиса – средств производства, главным образом тех, которые не используют цифровой технологии либо используют ее в виде компьютерной системы управления, что составляет инфраструктурное содержание применения этой технологии относительно базовой. При проведении индустриализации в широком смысле, не сводимой исключительно к цифровым технологиям, но предполагающей и их ввод, необходимо учитывать следующие принципы.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Сухарев О. С. (2014). Экономический рост, институты и технологии. Москва: Финансы и статистика. С. 288–292 (первое издание; второе издание – 2015 г., третье – 2020 г.).

Во-первых, соразмерность индустриализации величине потребления, хотя стимулирование совокупного спроса может оказывать весьма малое влияние на процесс индустриализации и не позволяет сконцентрировать достаточный ресурс для решения масштабных задач.

Во-вторых, определение масштаба индустриализации, сводимой к технологическому обновлению, исходя из задачи обновления средств производства, без увеличения доли обрабатывающих секторов в валовом продукте страны.

В-третьих, концентрацию ресурсов на решение задач индустриализации, поскольку роста потребления и спроса на новые технологии может оказаться недостаточно, причем формируемые программы, предоставляющие такой ресурс, в частности программы внедрения цифровых технологий, устанавливают фактические лимиты по получению субъектами указанной поддержки для развития. В итоге масштаб ввода новых технологий определен двумя источниками – возможностями самой промышленной организации и ее участием в программе, позволяющей получить некоторый ресурс.

В-четвертых, оценку существующего к текущему моменту производственно-технологического потенциала промышленности, а также величину его использования, что определит условия замены технологий и необходимый масштаб развертывания информационной инфраструктуры производства. Кроме того, это позволит выбрать наилучшую модель производственной организации. Следует отметить, что информационная инфраструктура, включая ее техническое обеспечение относительно производственных технологий, имеет самодовлеющее значение, обладает определенной автономностью и подпитывает сама себя. Это позволяет в расширенном варианте обеспечить предприятия компьютерами и сетями (Интернет) и добиться определенного успеха во внедрении цифровых технологий, что и показывает статистика, но при этом не происходит кардинального обновления карты использования производственных технологий. Данный эффект имеет место для российской экономики, что и будет показано далее, включает в себе принципиальный сформировавшийся режим технологического обновления, порождая коренной вопрос относительно целесообразности сохранения данного подхода.

В-пятых, соотношение скорости технологического обновления, ввода цифровых технологий и улучшающей модификации набора иных производственных технологий с процессом обучения кадров работе с использованием этих технологий, а также с процессом наращивания производства. Здесь имеет значение эффект кривой В. Базарова (или «затухающей кривой»): с течением индустриализации, по мере включения всё большего объема ресурсов для решения подобных задач либо повышения интенсивности используемых ресурсов (интенсивности технологического обновления), происходит снижение темпа роста объема промышленного производства. Преодолевается такой эффект исключительно за счет повышения эффективности факторов – используемых ресурсов, т. е. за счет их качества и рационального использования. Это ужесточает требования к оценке эффекта технологического замещения, например, аналоговых технологий – цифровыми технологиями. Хотя в этом случае наблюдается свойство заведомого преимущества, которое автоматически обеспечивает эффективность перехода.

Указанные позиции составляют концептуально-теоретическую основу для разработки программы технологической модернизации российской промышленности. При их рассмотрении большой смысл имеет учет этапов технологической эволюции, что представляется важным условием в обосновании для России «Индустрии 4.0», сводимой не только к расширению применения цифровых технологий, но и к замене средств производства – базисных производственных технологий.



### Этапы технологической эволюции производства – цифровые технологии

Рассмотрим основные этапы технологической эволюции производства, исходя из критерия уровня его автоматизации и автоматического управления и регулирования, поскольку цифровые технологии находят применение именно в этой плоскости. Покажем их место и обозначим этап, на котором они стали замещать аналоговые технологии.

На рис. 1а представлена общая схема, отражающая смену этапов технологической эволюции производства – от механизмов (первый этап) до искусственного интеллекта (пятый этап) в зависимости от уровня применяемого устройства и технологии для облегчения конкретных видов труда [Попов, Сухарев, 2018а]. Пунктирная линия ААА на рис. 1а ограничивает пятый – перспективный этап технологической эволюции в виде искусственного интеллекта, к которому еще предстоит перейти от четырех предшествующих уже пройденных этапов.



Рис. 1. Общая схема технологической эволюции производства – устройств (технологии) (а), соответствующих мотивов (б) и физического принципа действия (в)

Fig. 1. General scheme of technological evolution of production: devices (technologies) (a), corresponding motives (b), and physical principle of action (c)

Каждому этапу соответствует мотив применения (создания) устройства и определенной технологии (рис. 1б). Стремление облегчить физический труд привело к использованию различных механизмов, технологическая основа которых и управление которыми предполагали мускульно-визуальный контакт. С развитием производства совершенствовались механизмы и системы управления ими, появились автоматы, заменяющие отдельные операции монотонного ручного труда, базирующиеся на электрических сигналах

и схемах управления. Следующая стадия – возникновение роботов, также, по сути, являющихся автоматами, но с более широким набором функций и исполняемых операций, способных заменить не отдельные монотонные операции, а ручной человеческий труд по определенному функционалу. На первых шагах технологической эволюции (рис. 1а) использовались аналоговые технологии. Одновременно с развитием компьютера как средства управления и коммуникации и проведения расчетов расширилось применение цифровой технологии. Следовательно, на аналоговых технологиях основывались и механизмы, и автоматы, и роботы, и даже первые компьютеры (аналоговые вычислительные машины<sup>1</sup>).

Только на четвертом этапе эволюции (рис. 1) происходит вытеснение аналоговых технологий цифровыми, причем они распространяются сверху вниз, охватывая уже пройденные этапы эволюции техники. Компьютеры и формируемые с их помощью сетевые коммуникации предполагают широкое применение цифровых технологий, облегчают работу с информацией и использование интеллекта. Высший на сегодня этап, очертания которого только просматриваются в рамках технологической эволюции, – это применение искусственного интеллекта в управлении производством. Мотивом использования этой технологии выступает замена человека, его интеллекта в полном объеме, получение безлюдных производств (умных фабрик и заводов<sup>2</sup>). Принципиальную основу работы таких устройств составляют квантовые, нейронные и биомеханические технологии. Конечно, на пятом этапе не прерывается данная ветвь технологической эволюции производства, охватывающая систему управления и осуществления физических производственных операций, т. е., по существу, выступающая общей схемой эволюции автоматизации производства. Производственные технологии много шире технологий автоматизации, они затрагивают то, как должно обрабатываться изделие, каким должен быть материал, исходный ресурс, и как из него изготавливается конечный продукт. Такие производственные технологии составляют большой пласт технологий, причем на различных этапах своего развития они не всегда подлежат вводу цифровых технологий.

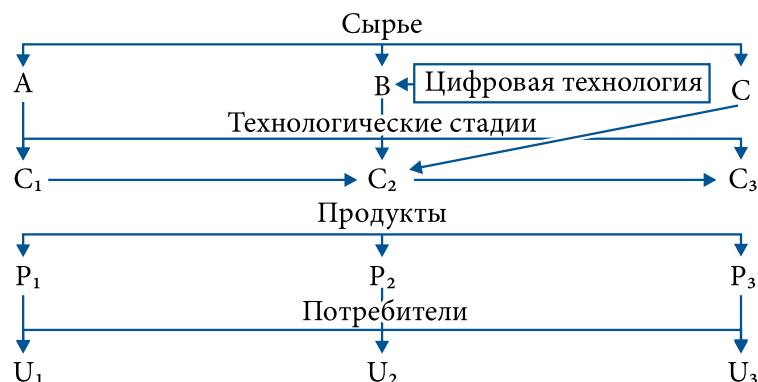
Тем самым технологический переход от аналоговых к цифровым технологиям составляет лишь часть технологической эволюции. И на основе современных подходов в текущем режиме даже проблематично оценить, какую именно часть. Систему управления технологиями можно сделать базирующейся на цифровых технологиях, но это не изменит физику применяемых производственных технологий, их содержание. А в тех технологиях, где будет изменена физика, инженерное содержание, автоматически появляются цифровые технологии, так как используются компьютер и современные роботы для решения различных механических и иных задач. Ряд производственных технологий, например нанотехнологии, позволяют получить продукты с заданными свойствами, исключая целые виды технологий, в частности механической обработки деталей. Происходит процесс технологического замещения. Однако одновременно производственные технологии могут комбинироваться, и это порождает «комбинаторный эффект», происходящий за счет применения двух и более технологий (что не является конвергенцией в общем смысле, как принято считать согласно аббревиатуре NBIC-технологии<sup>3</sup>), когда они

<sup>1</sup> Автор в период 1990–1996 гг., обучаясь в техническом университете, выполнял лабораторные работы по моделированию механических колебаний на аналоговых машинах. До 1992–1993 гг. инженерные расчеты также производились на аналоговых машинах.

<sup>2</sup> Конечно, о полной безлюдности говорить не приходится, потому что функция мониторинга и контроля за такими фабриками, а также ремонта роботов и систем искусственного интеллекта, их обслуживания должна реализовываться человеком.

<sup>3</sup> Это наименование обозначает так называемую конвергенцию нано- (N), био- (B), информационных (I) и когнитивных (C) технологий.

дают совершенно иное качество выхода годных изделий и расширяют потребительскую продуктовую базу. При этом, в общем-то, без добавочных ресурсов на такое одновременное применение. На рис. 2 представлена схема комбинаторного эффекта применительно к двум производственным технологиям, используемым в микроэлектронике, и показан сегмент, где цифровая технология служит составным элементом, причем не самым основным. Это обстоятельство принципиально важно, о чем свидетельствует и информация в табл. 1, разъясняющей рис. 2.



**Рис. 2.** Комбинаторный эффект применения технологии нанесения тонких пленок и создания ультразвукового электростатического поля

**Fig. 2.** Combinatorial effect of utilizing the technology of applying thin films and creating an ultrasonic electrostatic field

**Таблица 1. Стадии технологического процесса (по рис. 2)**

**Table 1. Stages of the technological process (according to Fig. 2)**

Сырье и комплектующие	Стадии технологии		Продукт	Потребитель
А – прокат черных и цветных металлов, неметаллы, химические реактивы и т. д.	С <sub>1</sub> – изготовление тактового конвейера с бесконтактной загрузкой-выгрузкой пластин	С <sub>3</sub> – испытания линии на соответствие техническим параметрам, контроль пленок диффузанта	Р <sub>1</sub> – линия для нанесения диффузанта на поверхность пластин	U <sub>1</sub> – производители фотоэлектроники
В – электроприводы, системы управления (цифровая технология), элементы газовых систем	С <sub>2</sub> – электромонтаж, установка программного обеспечения, опрессовка газовой системы, наладка режимов ультразвукового распыления		Р <sub>2</sub> – линия для нанесения тонких пленок	U <sub>2</sub> – производители кристаллов, полупроводников (микроэлектроника)
С – ультразвуковые распылители, блоки электростатики			Р <sub>3</sub> – линии для нанесения любых пленок	U <sub>3</sub> – широкое применение, включая нанесение пленок, красок и т. д.

Цифровая технология применяется в основном в системе управления, являющейся одним из технических звеньев всей технологической цепочки. Три вида ресурсов А, В, С используются на двух технологических стадиях С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub>, которые образуют следующую стадию С<sub>3</sub>, важную с точки зрения доведения продукта до потребителя. На этой стадии производятся три возможных продукта – линии различного назначения для производства средств производства Р<sub>1</sub>–Р<sub>2</sub> и для создания продукции широкого назначения (линия

широкого применения) –  $P_3$ . Каждый из создаваемых продуктов – средств производства имеет конечного потребителя в области фотоэлектроники, микроэлектроники и широкого потребителя, которому необходимо покрывать какие-то поверхности и т. д. Таким образом, как следует из примера комбинаторного взаимодействия технологий, цифровые технологии применяются лишь в одном из сегментов – на уровне ресурса и комплекствующих В для технологической стадии  $C_2$ <sup>1</sup>.

Траектории эволюции технологий автоматизации и информационно-компьютерных технологий, к коим относятся цифровые технологии как составной неотъемлемый элемент, и эволюции производственных технологий абсолютно не совпадают, причем ввод цифровой технологии в систему управления иными производственными технологиями не означает кардинального прогресса в их содержании (рис. 2). Объектом воздействия цифровой технологии выступает сигнал, информация, в связи с чем эволюция этой технологии охватывается фазами работы с информацией, с сигналом. Можно выделить доаналоговую стадию, затем аналоговую, на смену которой и приходит собственно цифровая технология, которая, видимо, в дальнейшей эволюции будет заменена квантовой и нейронной технологиями, хотя цифровой принцип может сохраниться в этих системах. Что касается роботов, датчиков, сенсорных устройств, облачных сервисов, цифровых платформ, Интернета, различных форматов обмена данными, а именно EDI<sup>2</sup>, либо систем CRM<sup>3</sup>, ERP<sup>4</sup>, SCM<sup>5</sup> и других, а также интеллектуальных систем управления, не говоря уже об аддитивных технологиях и создании новых материалов<sup>6</sup>, то это объекты применения цифровой технологии, но никак не ступени ее развития (как и было показано на рис. 1, 2). Отметим, что роботы, как и автоматы, работали на аналоговых технологиях, и даже первые компьютеры (вычислительные машины) работали на них же. Отдельные механизмы в принципе не подлежат цифровизации, с применением компьютеров большая часть автоматов, конечно, стали цифровыми, и роботы тоже. Но всё это – объекты применения технологии, а не ступени, фазы или этапы ее развития. Технологическую эволюцию, и в том числе позиционирование места цифровых технологий, отражает рис. 1, включая изменение движущего мотива совершенствования производства и физический принцип работы технологии.

В связи с вышесказанным возникает задача выстраивания некоей методики или алгоритма оценки технологического замещения, дающих возможность понимать не только характеристики процесса распространения цифровых технологий, но и степень их

<sup>1</sup> До применения цифровых технологий могла использоваться система управления на электрических схемах, аналоговой обработки сигнала.

<sup>2</sup> Набор стандартов по обмену цифровой информацией, позволяющих взаимодействовать различным компьютерам. Эта технология используется с начала 1970-х годов, наиболее активно – в 1980-е и 1990-е гг. В 1984 г. технология включала инфраструктуру, передачу информации, собственно стандарты и приложения. Список стандартов большой, охватывает многие отрасли промышленности, в том числе оборонный сектор. Нужно отметить, что в основном стандарты являются внешними, т. е. страна, принимающая такие стандарты, следует этим правилам. Сегодня в мире разворачивается конкуренция по стандартам, включая и информационную сферу деятельности как наиболее динамично развивающуюся и перспективную.

<sup>3</sup> CRM-система (Customer Relationship Management) – программное обеспечение фирм для автоматизации стратегий реализации контрактов с заказчиками.

<sup>4</sup> ERP-система (Enterprise Resource Planning) – система планирования ресурсов предприятия.

<sup>5</sup> SCM (supply chain management) – управление цепочками поставок.

<sup>6</sup> Данные виды производственных технологий связаны с послойным наращиванием изделия, синтезом, материал добавляется к основе, сразу формируя изделие с заранее заданными свойствами. Технологии этого вида предполагают применение цифровой технологии обработки данных и информации, которая является лишь элементом общей цепочки, обеспечивающей химическое и механическое воздействие на ресурс – материал.

влияния на функционирование производства, что особенно важно с позиции «парадокса производительности». В какой мере цифровые технологии способствуют развитию «новых комбинаций» [Татаркин и др., 2017], производственных технологий общего назначения – на этом, по идее, должна базироваться такая методика, насколько позволяют оценить указанное влияние имеющиеся статистические материалы.

### Методика анализа динамики распространения цифровых технологий в промышленности

Для получения полноценной картины распространения технологий необходимо располагать алгоритмом анализа процесса технологического замещения. С одной стороны, требуется учесть масштаб применения цифровых технологий в объектах рассматриваемой системы относительно тех технологий, которые замещаются. С другой стороны, важна оценка общей технологичности промышленности (либо отдельных секторов) в динамике с сопоставлением распространения цифровых технологий, позволяющая иметь картину совместной динамики, из которой будет видна оценка масштаба влияния на величину общей технологичности.

Поэтому методика анализа эффекта распространения цифровых технологий в промышленности предполагает реализацию следующих трех направлений:

- 1) распространение цифровых технологий по объектам их применения в организациях промышленности (по численности организаций, применяющих данные объекты, реализующие цифровую технологию – компьютеры, роботы, информационные сети, передачу данных, системы управления контактами с заказчиками, поставками, ресурсами и т. д.);
- 2) оценка динамики доли высоко-, средне- и низкотехнологичных видов экономической деятельности, показывающая изменение технологической структуры;
- 3) измерение уровня технологичности в секторах промышленности (например, машиностроении и сырьевом секторе для сравнения) и оценка его чувствительности к инвестициям в новые<sup>1</sup> и старые технологии.

Таким образом, согласно первому пункту можно оценить динамику распространения данного вида технологий, причем отдельно исследовав аспекты применения, включая и информационную инфраструктуру.

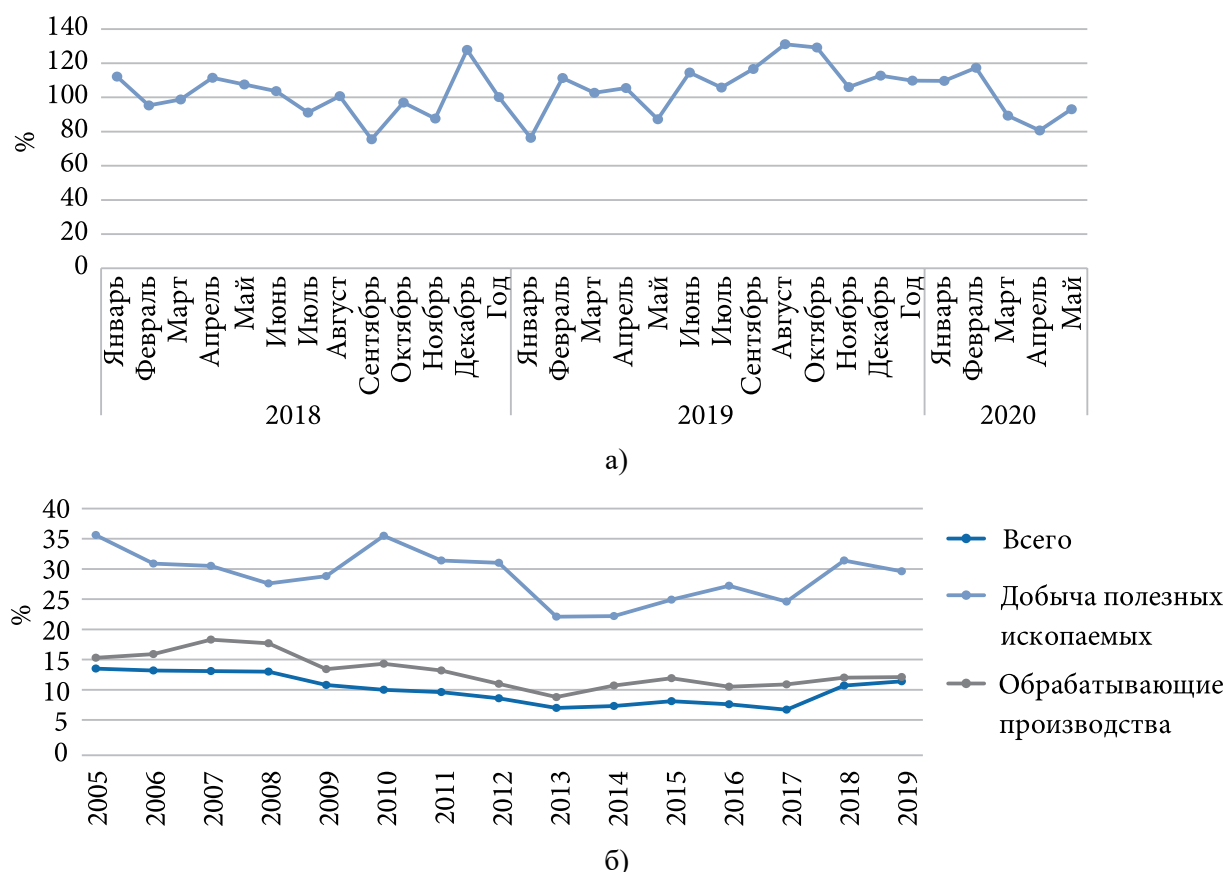
На рис. 3 представлена динамика производства высокотехнологичных обрабатывающих видов деятельности. Согласно этим данным, с октября 2019 г. ощутимой положительной динамики не наблюдалось, а с февраля 2020 г. фиксировался существенный спад: до 15 % в марте (до объявления карантина по COVID-19) и 20 % в апреле. Обратим внимание, что конец 2018 г. и начало 2019 г. для этих видов производства были также неблагоприятными (рис. 3а).

Динамика рентабельности продукции по обрабатывающим секторам (рис. 3б) охватывается диапазоном 10–12 %. Имеется общая тенденция снижения рентабельности и добычи полезных ископаемых, и обрабатывающих производств, и для экономики России в целом. Причем рентабельность добычи примерно в 2,7–3 раза выше рентабельности обработки. Это создает структуру секторов, отражающуюся на инвестировании в них и на структуре технологий и процесса технологического обновления. С одной стороны, низкие параметры эффективности функционирования должны подталкивать к технологическому

<sup>1</sup> Под инвестициями в новые технологии будем понимать затраты на технологические инновации, под инвестициями в старые технологии – разницу между вложениями в основной капитал и затратами на технологические инновации. Технологичность определяется для промышленности по отношению величины инновационной отгруженной продукции работ, услуг к величине объема неинновационной отгруженной продукции, работ, услуг.



обновлению, но, с другой стороны, они ограничивают возможности осуществления ввода новых технологий по причине ограниченности не только ресурсов (новые технологии являются весьма дорогими), но и спроса на такое внедрение. Показатели производительности труда весьма скромные (табл. 2); по существу, отсутствует рост в сферах добычи и строительства, весьма слабое увеличение показывают обрабатывающие производства. При такой динамике, видимо, чрезвычайно трудно идентифицировать даже «парадокс производительности».



**Рис. 3.** Индекс производства высокотехнологичной обрабатывающей деятельности, % к соответствующему периоду предыдущего года (а)<sup>1</sup>, и рентабельность продукции по видам экономической деятельности, % (б)<sup>2</sup>

**Fig. 3.** Index of production of high-tech manufacturing activities, in % to the corresponding period of the previous year (a) and profitability of products by type of economic activity, % (b)

**Таблица 2. Индексы производительности труда в экономике России, % к предыдущему году**

**Table 2. Indices of labour productivity in the Russian economy, in % to the previous year**

Сфера деятельности	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
В целом по экономике	103,8	102,1	100,8	98,7	100,1	102,1	102,8
Добыча полезных ископаемых	101,5	100,4	103,3	100,3	101,4	100,8	100,3
Обрабатывающие производства	105,8	102,3	102,5	101,3	100,4	103,9	101,8
Строительство	102,4	98,3	97,1	100	101,4	97,3	100,7

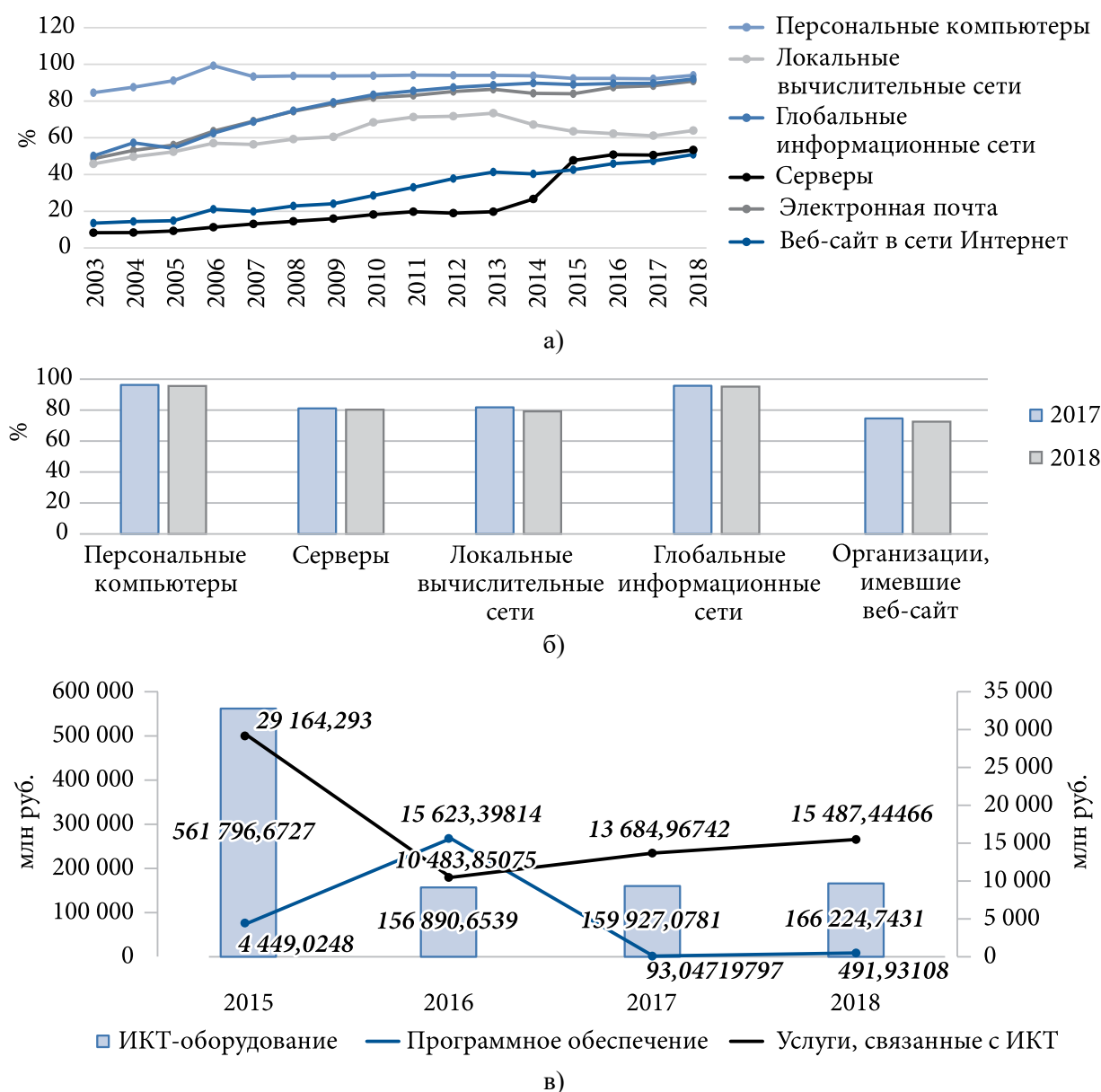
Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/11186>.

<sup>1</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/11189>.

<sup>2</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/12993>.

Теперь оценим, как идет в динамике процесс развертывания элементов цифровых технологий (по информационно-компьютерным технологиям (ИКТ)) в виде компьютеров, сетей, веб-сайтов и т. д. Также проведем анализ динамики различных видов технологий и осуществим расчет технологического уровня машиностроения и сырьевого сектора, т. е. определим, как он меняется при изменении доли инвестиций в новые технологии.

На рис. 4 отражены уровни использования цифровых технологий в России (а) и отдельно в машиностроительном секторе (б), а также показаны продажи товаров ИКТ в ценах 2015 г. (в).



**Рис. 4.** Удельный вес использующих ИКТ организаций в целом по России (а) и в сфере машиностроения<sup>1</sup> (б), % от общего числа обследованных организаций, и данные об отгруженных произведенных товарах ИКТ в ценах 2015 г.<sup>2</sup> (в)

**Fig. 4.** Share of organisations using information and computer technologies generally in Russia (a), in mechanical engineering (b), % of the total number of surveyed organisations, and data on shipped manufactured ICT goods in 2015 prices (c)

<sup>1</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/14478>.

<sup>2</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/14478>.

Обратим внимание, что положительная динамика в области информатизации производства в указанные годы не соотносится с весьма неустойчивой динамикой в сфере производства высокотехнологичной продукции (рис. 3) и не позволяет изменить соотношение рентабельности, например, между добывающим и обрабатывающим секторами, не говоря уже о том, чтобы достичь рентабельности обработки хотя бы выше 15–17 % (рис. 3в). В этом видится одна из серьезных проблем модели технологического обновления российской промышленности и экономики в целом.

В период 2003–2018 гг. российская экономика увеличивала применение различных элементов цифровых технологий, информационно-компьютерных технологий. Использование персональных компьютеров, Интернета, электронной почты достигало более 95 % от числа обследованных организаций. Локальные сети применяли 60 % организаций (это значение понизилось с 70 % в 2013 г.), серверы и веб-сайты в Интернете – свыше 40–45 % организаций (рост с менее чем 10 % в 2003 г.). Таким образом, за исключением локальных вычислительных сетей, применение которых понизилось на 10 % в последние пять лет, экономика России показывала расширение использования ИКТ – устойчиво возрастающую динамику. Машиностроение как флагман отечественной промышленности демонстрировало еще более высокие показатели – все параметры выше 70 %, а применение компьютеров, Интернета приближается к 100 % организаций, серверов и сетей – 80 %, имеющих веб-сайт – выше 75 %.

Число персональных компьютеров в организациях увеличилось за указанный период более чем в 3 раза, превысив 12 млн штук<sup>1</sup>. Если до 2008 г. основные затраты по внедрению ИКТ приходились на закупку вычислительной техники и оргтехники, то с 2008 г. до 2016 г. основной строкой затрат становятся затраты на оплату услуг электросвязи, а с 2016 г. – на покупку программных средств<sup>2</sup>.

Обобщая, можно заключить, что налицо весьма неплохая динамика распространения информационно-компьютерных технологий и обеспеченность ими, в частности машиностроения (рис. 4б). Однако с 2015 по 2018 г. явно снизились продажи ИКТ-оборудования (рис. 4в), программного обеспечения, но возросли услуги обслуживания ИКТ. Это говорит о политике отсрочки обновления парка ИКТ, когда ремонт, наладка, обслуживание выходят на первый план в работе промышленных организаций, реализующих стратегию экономии издержек. Кстати, рост распространения в этот период замедляется, а по отдельным показателям, в частности по локальным вычислительным сетям, – понижается (рис. 4а).

Данные в табл. 3 показывают, что использование компьютеров, сетей, в том числе Интернета, выше 90 %, а с учетом использования серверов – выше 70 %. Существенно отстает использование облачных серверов (не более 27 %) и веб-сайтов (62 %), однако это свидетельствует скорее о степени удобства и потребности в использовании, но никак не о замедлении ввода цифровых технологий.

Рис. 5 отражает динамику роста удельного веса организаций, использующих программные средства в различных сферах своей деятельности по развитию производства.

Большинство организаций (от 50 до 60 %) применяет данные средства для решения финансовых, экономических и управленческих задач, затем следует управление закупками и продажами, и менее 20 % организаций используют программные средства для автоматизированного управления производством, проектирования, осуществления научных исследований в CRM-, ERP- и SCM-системах.

<sup>1</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/14478>.

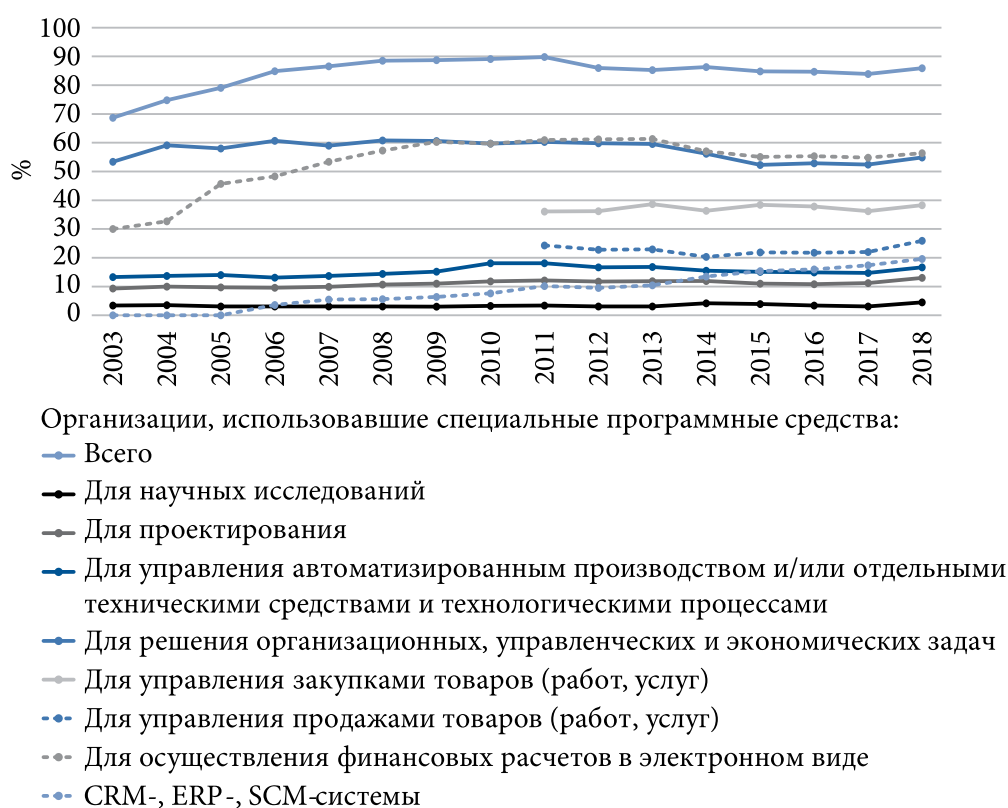
<sup>2</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/14478>.

**Табл. 3. Использование информационных и коммуникационных технологий в организациях по видам экономической деятельности, % от общего числа обследованных организаций соответствующего вида деятельности**

Table 3. Use of information and communication technologies in organisations by type of economic activity, % of the total number of surveyed organisations of the corresponding type of activity

Сфера деятельности	ИКТ, использовавшиеся организациями											
	персональные компьютеры		серверы		локальные вычислительные сети		глобальные информационные сети		веб-сайт в Интернете		облачные сервисы	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Всего	92,1	94,0	50,6	53,4	61,1	63,9	89,7	92,0	47,4	50,9	22,9	26,1
Добыча полезных ископаемых	90,7	88,5	69,1	65,1	73,3	69,5	89,0	86,5	39,7	37,4	17,4	17,8
Обрабатывающие производства	95,5	94,1	74,5	72,2	76,2	72,8	94,5	93,1	63,8	61,6	25,7	26,2

Источник данных: Информационное общество в Российской Федерации: статистический сборник (2019). URL: <https://www.gks.ru/storage/mediabank/info-ob2019.pdf>.



**Рис. 5. Доля организаций, использующих в своей деятельности различные программные средства, % от общего числа обследованных организаций**

Fig. 5. Share of organisations using various software in their activities, % of the total number of surveyed organisations

На рис. 6 показана динамика числа разработанных передовых производственных технологий (а), в том числе принципиально новых для России (б), по видам деятельности.

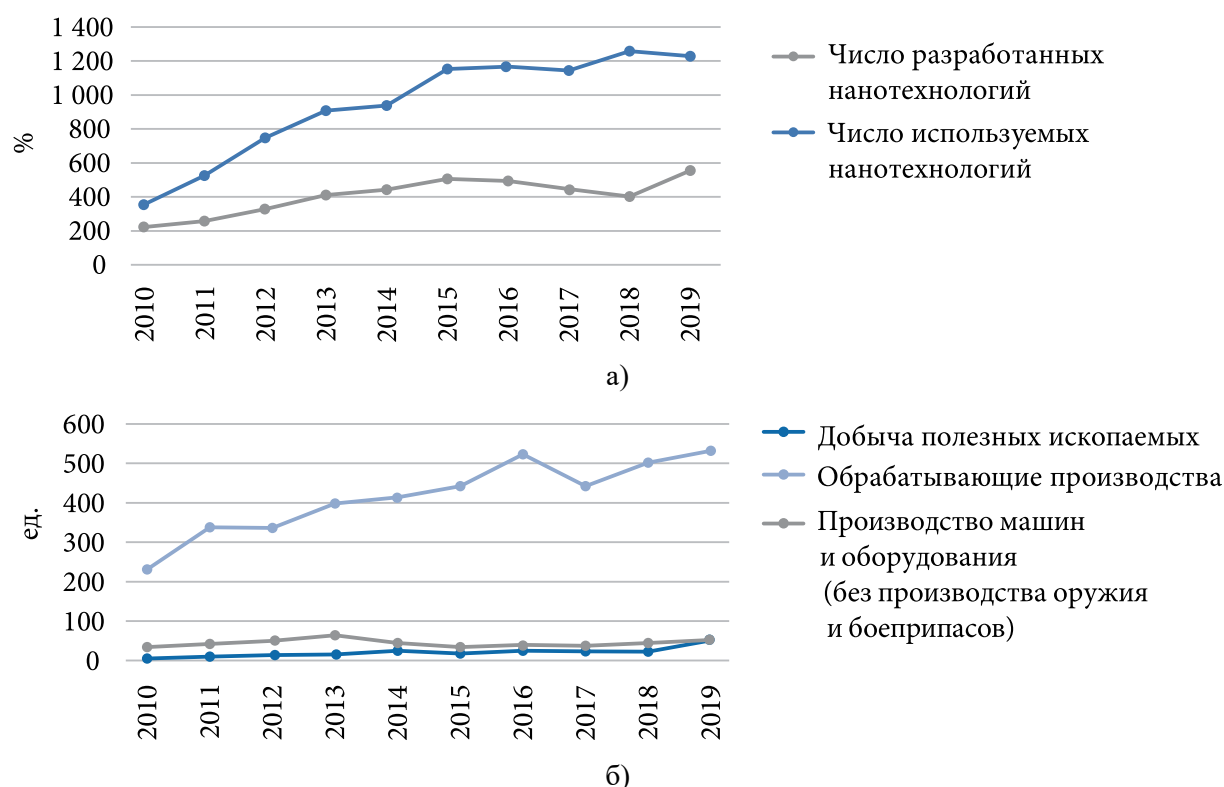


Рис. 6. Число разработанных передовых производственных технологий (а), в том числе принципиально новых для России (б)<sup>1</sup>

Fig. 6. Number of advanced production technologies developed (a), including the fundamentally new for Russia (b)

Число разработанных передовых технологий в обрабатывающей деятельности растет и составляет сотни единиц, но в этом массиве число принципиально новых технологий измеряется буквально штуками (два-три десятка для обрабатывающих производств). В сферах производства машин и оборудования, а также добычи динамика разработки передовых технологий и создания принципиально новых технологий практически отсутствует (рис. 6б). Табл. 4 отражает число используемых передовых производственных технологий, которое значительно превосходит число разработанных передовых производственных технологий и принципиально новых технологий по этим же видам деятельности (ср. табл. 4, 5 и рис. 6).

Таблица 4. Число используемых в России передовых производственных технологий по видам экономической деятельности, ед.

Table 4. Number of advanced production technologies used in Russia by type of economic activity, units

Сфера деятельности	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Добыча полезных ископаемых	7 914	8 474	9 527	9 059	8 892	9 222	9 989	10 181	11 128	13 062
Обрабатывающие производства	135 945	118 021	119 182	121 103	127 942	146 700	152 820	157 881	164 906	172 488
Производство машин и оборудования	17 134	14 474	13 119	12 842	13 010	14 466	15 043	23 226	23 865	23 555

Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/11189>.

<sup>1</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/11189>.



Таблица 5. Число разработанных и используемых нанотехнологий, ед.

Table 5. Number of developed and used nanotechnologies, units

Нанотехнологии	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Разработанные	222	258	327	411	443	505	494	446	402	555
Используемые	354	526	748	907	937	1152	1166	1144	1258	1228

Составлено по данным годовой формы федерального статистического наблюдения № 1-технология «Сведения о разработке и (или) использовании передовых производственных технологий». URL: <https://www.gks.ru/folder/11189>.

Данное обстоятельство говорит о том, что применение значительно превышает разработку технологий и что могут использоваться давно известные технологии либо технологии, подчиненные логике комбинаторного эффекта, регистрируемые как передовые используемые технологии. Число же приобретаемых новых технологий и программных средств по всем указанным видам деятельности в России в период с 2010 по 2018 г. снизилось. Таким образом, показатели разработки и передовых, и принципиально новых технологий (измеряемых буквально штуками), несмотря на их увеличение, а также понижение покупок новых технологий свидетельствуют о существенных трудностях технологического обновления. Более того, учитывая динамику охвата организаций цифровыми технологиями в виде распространения информационно-компьютерных элементов, можно высказать предположение о том, что оба процесса имеют низкий (необусловленный) уровень согласованности и взаимной детерминации.

Используя разбивку Росстата на высоко-, средне- и низкотехнологичные виды экономической деятельности<sup>1</sup>, причем среднетехнологичные подразделяются на два вида – высокого и низкого уровня, покажем динамику валовой добавленной стоимости (ВДС) в этих видах деятельности, сведя к ценам 2005 г. (рис. 7). В этом случае видна не только

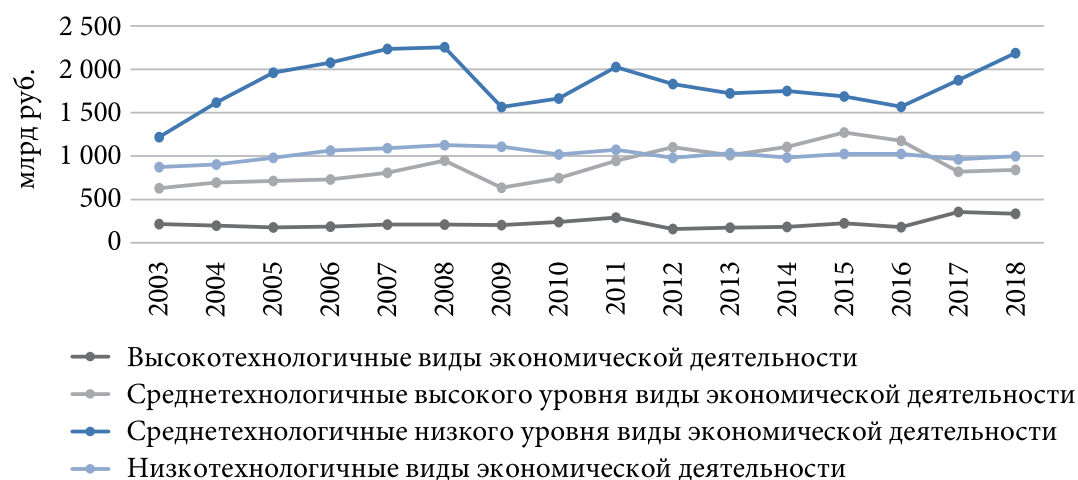
<sup>1</sup> К высокотехнологичным видам экономической деятельности относятся производство фармацевтической продукции; производство офисного оборудования и вычислительной техники; производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи, производство медицинских изделий, средств измерений, контроля, управления и испытаний, оптических приборов, фото- и кинооборудования, часов; производство летательных аппаратов, включая космические.

К среднетехнологичным высокого уровня видам экономической деятельности относятся химическое производство за вычетом производства фармацевтической продукции; производство машин и оборудования (без производства оружия и боеприпасов); производство электрических машин и электрооборудования; производство автомобилей, прицепов и полуприцепов; производство судов, летательных и космических аппаратов и прочих транспортных средств за вычетом строительства и ремонта судов и производства летательных аппаратов, включая космические.

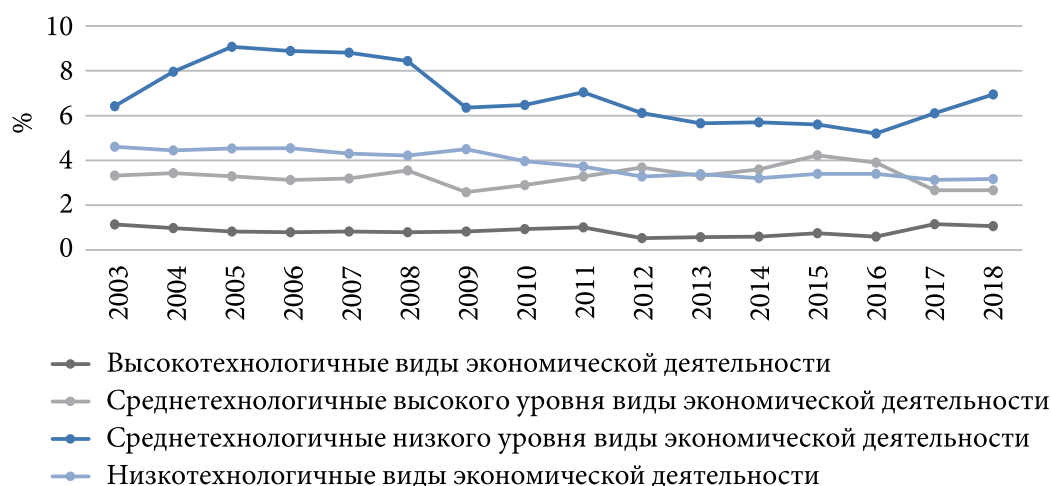
К среднетехнологичным низкого уровня видам экономической деятельности относятся производство кокса и нефтепродуктов; производство резиновых и пластмассовых изделий; производство прочих неметаллических минеральных продуктов; металлургическое производство; производство готовых металлических изделий; строительство и ремонт судов.

К низкотехнологичным видам экономической деятельности относятся производство пищевых продуктов, включая напитки; производство табачных изделий; текстильное производство; производство одежды, выделка и крашение меха; производство кожи, изделий из кожи и производство обуви; обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели; производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них; издательская и полиграфическая деятельность, тиражирование записанных носителей информации; производство мебели и прочей продукции, не включенной в другие группировки; обработка вторичного сырья (см. данные Росстата. URL: <https://www.gks.ru/folder/11189>). Критерием отнесения к высокотехнологичным отраслям является высокий уровень технологического развития, определяемый по отношению затрат на НИОКР к валовой добавленной стоимости (источник: данные Росстата. URL: [https://www.gks.ru/metod/metodika\\_832.pdf](https://www.gks.ru/metod/metodika_832.pdf)).

динамика различных по уровню технологичности производственных переделов, но и соотношение видов высокотехнологичной и низкотехнологичной деятельности.



а)



б)

**Рис. 7.** Динамика ВДС по видам экономической деятельности различного уровня технологичности (в ценах 2005 г.) (а) и структура ВДС по видам деятельности, % от ВВП (б)<sup>1</sup>  
**Fig. 7.** Dynamics of GVA by type of economic activity at various levels of manufacturability (in 2005 prices) (а), structure of GVA by type of activity, % of GDP (b)

Наибольшую добавленную стоимость дают низкотехнологичные и среднетехнологичные низкого уровня виды деятельности, наименьшую – высокотехнологичные и среднетехнологичные высокого уровня. Среднетехнологичные низкого уровня виды деятельности показывают наибольшую ВДС и самую изменчивую динамику. Остальные виды деятельности демонстрируют более или менее устойчивую динамику, причем структура создаваемой ими добавленной стоимости практически не меняется: наибольшая доля приходится на среднетехнологичные виды деятельности низкого уровня, затем следуют низкотехнологичные, среднетехнологичные высокого уровня, а заключительное место занимают высокотехнологичные виды деятельности (около 1 %). Высокотехнологичные и среднетехнологичные высокого уровня виды деятельности составляют в сумме не

<sup>1</sup> Составлено по данным Росстата. URL: <https://www.gks.ru/accounts>, <https://www.gks.ru/folder/11189>.

более 2,5 % в 2018 г., в лучшие годы эта сумма не превышала 4 %. Следовательно, в среднем технологическое развитие России характеризуется не улучшением, а ухудшением его качества и количественных учетных параметров наряду с улучшением информационной обеспеченности.

Проверим это утверждение, данное согласно анализу общей статистики, рассчитав общую технологичность<sup>1</sup> машиностроения и сырьевого сектора<sup>2</sup> России, отразив ее уровень от доли инвестиций в ВДС по различным видам технологий (рис. 8, 9).

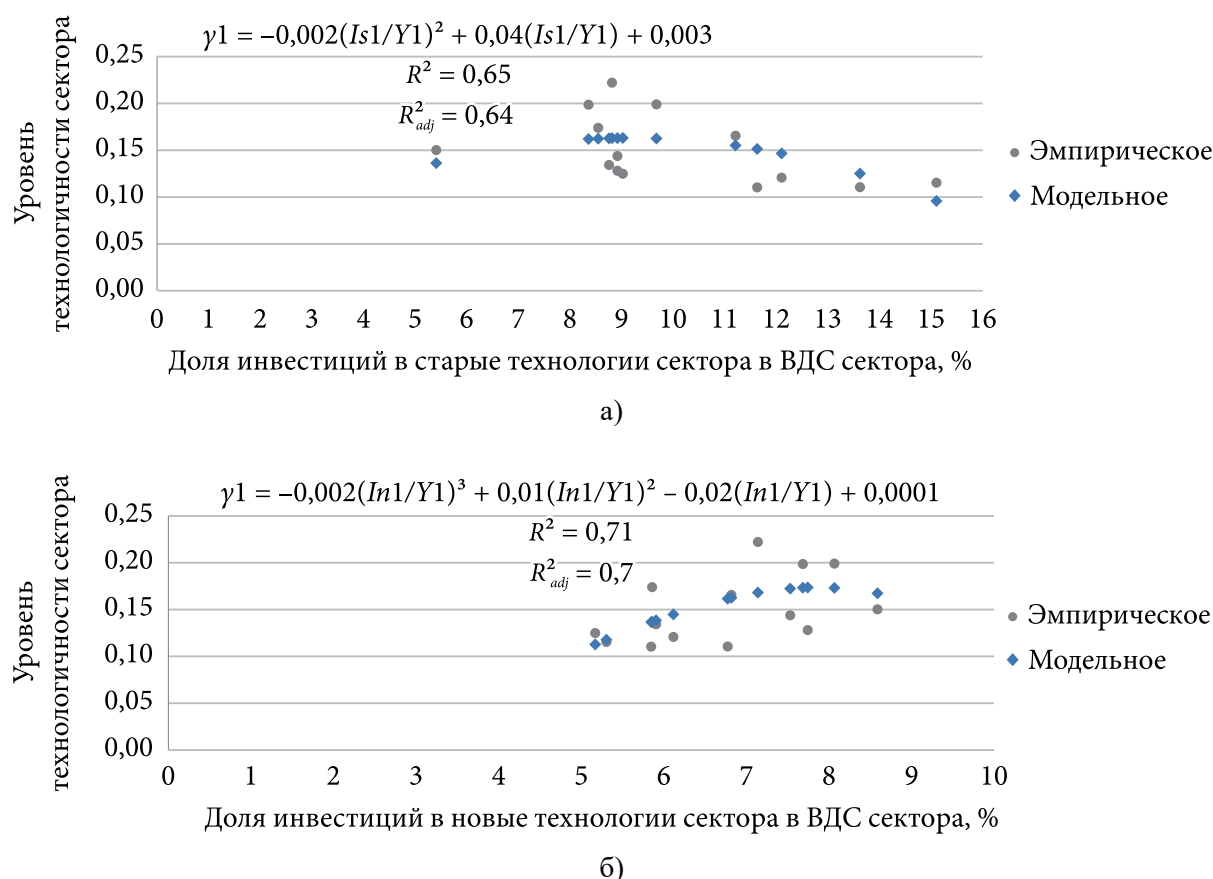


Рис. 8. Технологичность машиностроения и доля инвестиций в старые (а)<sup>3</sup> и новые (б)<sup>4</sup> технологии, 2005–2018 гг.

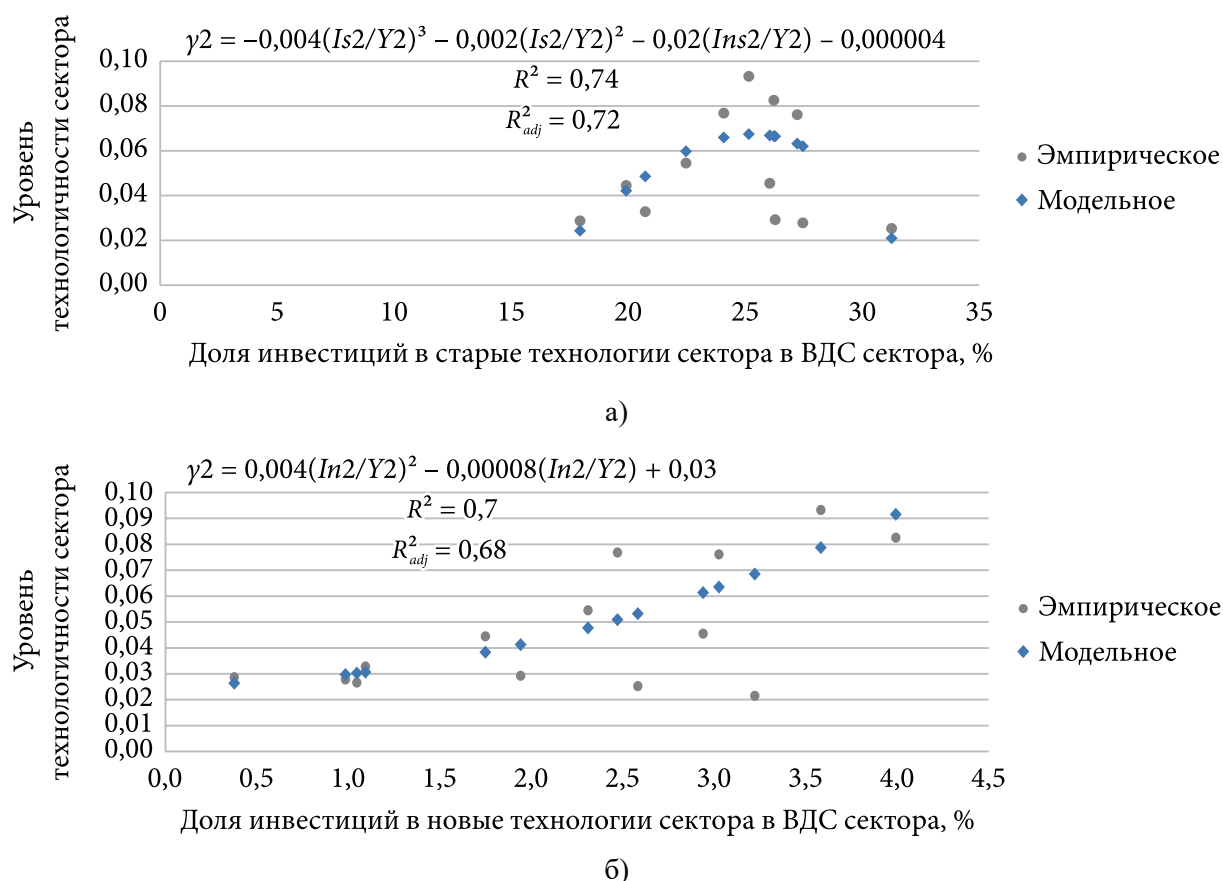
Fig. 8. Manufacturability of mechanical engineering and the share of investments in old (a) and new (b) technologies, 2005–2018

<sup>1</sup> Расчет осуществлен по данным Единой межведомственной информационной статистической службы (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59210>, <https://www.fedstat.ru/indicator/59048>.

<sup>2</sup> В состав сектора машиностроения входят виды деятельности: С28 – Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки, С29 – Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, С30 – Производство прочих транспортных средств и оборудования. В состав сырьевого сектора входят виды деятельности: раздел В – Добыча полезных ископаемых, С19 – Производство кокса и нефтепродуктов (по ОКВЭД согласно Росстату). Технологичность определяется отношением отгруженных инновационных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами к отгруженным неинновационным товарам собственного производства, выполненным работам и услугам собственными силами (URL: <https://www.gks.ru/folder/14477>, [https://www.gks.ru/enterprise\\_industrial](https://www.gks.ru/enterprise_industrial)). Инвестиции в новые технологии – затраты на технологические инновации организаций, инвестиции в старые технологии – разница между валовым накоплением основного капитала и инвестициями в новые технологии (URL: <https://www.gks.ru/folder/14477>; <https://www.gks.ru/accounts>).

<sup>3</sup> Статистики модели: F-критерий = 6,1; D-W<sub>расчет.</sub> = 1,5 ∈ [1,35; 2,65]; тест Уайта:  $\chi^2_{расчет.} = 17,7$ ;  $\chi^2_{крит.} = 22,4$ .

<sup>4</sup> Статистики модели: F-критерий = 7,3; D-W<sub>расчет.</sub> = 1,4 ∈ [1,35; 2,65]; тест Уайта:  $\chi^2_{расчет.} = 15,5$ ;  $\chi^2_{крит.} = 22,4$ .



**Рис. 9.** Технологичность сырьевого сектора и доля инвестиций в старые (а)<sup>1</sup> и новые (б)<sup>2</sup> технологии, 2005–2018 гг.

**Fig. 9.** Manufacturability of the raw materials sector and the share of investments in old (a) and new (b) technologies, 2005–2018

Во-первых, как показывают рис. 8, 9, технологичность машиностроения выше примерно в 2 раза, нежели технологичность сырьевого сектора. При увеличении доли инвестиций в старые технологии технологичность машиностроения понижается, в новые – увеличивается. В среднем в 2018 г. машиностроение вернулось к показателю технологичности уровня 2013 г. Период роста сменился в дальнейшем снижением общей технологичности (согласно применяемому критерию ее определения)<sup>3</sup>.

Во-вторых, являясь весьма низкой, технологичность сырьевого сектора также демонстрирует период роста, затем снижения, причем возвращаясь в 2018 г. к уровню примерно 2011–2012 гг. Однако рост доли инвестиций в новые технологии сопровождается увеличением технологичности сырьевого сектора, а в старые технологии – сначала увеличением, затем понижением технологичности.

При этом чувствительность к растущим инвестициям весьма небольшая, хотя российская экономика показала инвестиционный спад в 2013–2016 гг., что содействовало понижению общей технологичности как машиностроения, так и сырьевого сектора (на рис. 8, 9 эта связь прослеживается). Инновационная динамика была явно сжатой, причем

<sup>1</sup> Статистики модели: F-критерий = 32,5; D-W<sub>расчет.</sub> = 1,7 ∈ [1,35; 2,65]; тест Уайта:  $\chi^2_{расчет.}$  = 9,2;  $\chi^2_{крит.}$  = 22,4.

<sup>2</sup> Статистики модели: F-критерий = 7,3; D-W<sub>расчет.</sub> = 1,4 ∈ [1,35; 2,65]; тест Уайта:  $\chi^2_{расчет.}$  = 15,5;  $\chi^2_{крит.}$  = 22,4.

<sup>3</sup> Нужно отметить, что технологичность российского машиностроения (0,2) примерно в 2 раза выше среднероссийского уровня (0,1), однако в 1,5–2 раза уступает аналогичному показателю наиболее развитых стран, в частности Германии.

помимо проблем с учетом инновационной продукции [Стрижакова и др., 2019] была невысока и чувствительность инновационного производства к инвестициям в него по причине институциональных ограничений и блокирования стимулов к инновационной деятельности.

Таким образом, структура технологичных видов деятельности не изменялась, создания в них значительно растущей добавленной стоимости не происходило, и уровень технологичности в среднем понизился в период 2015–2020 гг.<sup>1</sup> Ситуация складывалась таким образом, несмотря на рост передовых технологий, разработку программы цифровизации российской экономики, позитивную динамику распространения элементов, базирующихся на цифровых технологиях. Подобное развитие уже выходит за рамки «парадокса производительности» и тем более «технологического дуализма», так как воспроизводит дуализм по линии «реальные – виртуальные» технологии, при котором состояние производственных технологий не соответствует положительной динамике внедрения информационных технологий.

### Заключение

Подводя итог проведенному исследованию, сформулируем наиболее важные для теории и практики индустриального развития выводы.

Во-первых, обоснована типизация технологий и с использованием таксономического метода выделены этапы технологической эволюции производственных систем по критерию их автоматизации. Это позволило определить появление цифровой технологии и механизм распространения – объекты, подлежащие охвату этой технологией. Однако содержание технологического обновления российской промышленности состоит не только в замене аналоговых на цифровые технологии, но в замене целого набора устаревших производственных технологий. В этом процессе особое значение приобретает комбинаторный эффект, когда известные технологии, применяемые одновременно, дают новую технологическую цепочку.

Во-вторых, применение предложенной методики анализа динамики распространения цифровых технологий в промышленности позволило выявить хорошую обеспеченность производства основными элементами – носителями цифровой технологии (компьютеры, сети), неплохой уровень применения информационно-коммуникационных технологий, т. е. положительную динамику развития информационной инфраструктуры промышленности.

Представленные в статье алгоритм и методика анализа процесса технологического замещения могут составить перспективную инструментальную основу для оценки сложных аспектов технологического развития и трансформации, которую можно дополнять различными моделями, имеющими обычно локализованную область применения.

### Источники

- Абалкин Л. И. (2005). Россия: поиск самоопределения. Москва: Наука. 464 с.  
 Бодрунов С. Д. (2014). Реиндустриализация: круглый стол в Вольном экономическом обществе // Мир новой экономики. № 1. С. 12–13.  
 Глазьев С. Ю. (2017). Битва за лидерство в XXI веке. Россия, США, Китай. Семь вариантов ближайшего будущего. Москва: Книжный мир. 352 с.

<sup>1</sup> Как известно, период 2015–2016 гг. выделяется как годы рецессии. Согласно прогнозным оценкам, 2020 год также должен быть рецессионным. В течение всего указанного периода темп роста экономики России был крайне низким, а инновационная динамика имела негативные характеристики, что явно характеризует стагнационный вариант развития.



- Губанов С. С. (2014). Неоиндустриализация России и нищета ее саботажной критики // Экономист. № 3. С. 3–32.
- Дементьев В. Е. (2017). Возможности приспособления к парадоксу производительности при обновлении технологической базы экономики // Сборник статей 5-й Всероссийской конференции «Львовские чтения – 2017» / под науч. ред. член-корр. РАН Г. Б. Клейнера. Москва: Издательский дом ГУУ. С. 26–28.
- Занг Б. (1999). Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. Москва: Мир. 335 с.
- Львов Д. С. (2002). Экономика развития. Москва: Экзамен. 512 с.
- Попов Е. В., Сухарев О. С. (2018a). Движение к цифровой экономике: влияние технологических факторов // Экономика. Налоги. Право. № 1. С. 26–35. DOI: 10.26794/1999-849X-2018-11-1-26-35.
- Попов Е. В., Сухарев О. С. (2018b). Цифровая экономика: иррациональный оптимизм управления и финансирования // Экономика. Налоги. Право. № 2. С. 6–17. DOI: 10.26794/1999-849X-2018-11-2-6-17.
- Силин Я. П., Анимица Е. Г., Новикова Н. В. (2019). Теории экономического роста и экономического цикла в исследовании региональных процессов новой индустриализации // Journal of New Economy. Т. 20, № 2. С. 5–29. DOI: 10.29141/2073-1019-201920-2-1.
- Скрипкин К. Г. (2015). Парадокс производительности информационных технологий: современное состояние в мире и в России // Вестник Томского государственного университета. № 395. С. 172–178.
- Стрижакова Е. Н., Стрижаков Д. В. (2019). Развитие инновационной экономики: проблемы и возможности // Вестник Евразийской науки. № 1. URL: <https://esj.today/PDF/09ECVN119.pdf> (доступ свободный).
- Сухарев О. С. (2011). Экономическая политика и развитие промышленности. Москва: Финансы и статистика. 216 с. URL: <http://osukharev.com/images/file/f8.pdf>.
- Сухарев О. С. (2012). Эволюция экономических систем: структурные изменения, проблемы технологического развития и эффективности: научный доклад. Новочеркасск: НОК. 120 с.
- Сухарев О. С. (2020). Индустриализация 4.0 и модели технологического развития для преодоления эффекта «2Д» // Вестник ЮРГПУ (НПИ). Серия «Экономика». № 1. С. 4–23.
- Татаркин А. И. (2014). Социальный вектор смешанной модели экономического развития России // Вестник Финансового университета. № 6. С. 10–21.
- Татаркин А. И. (2015). Новая индустриализация экономики России: потребность развития и / или вызовы времени // Экономическое возрождение России. № 2 (44). С. 20–31.
- Татаркин А. И., Сухарев О. С., Стрижакова Е. Н. (2017). Определение вектора новой промышленной политики на основе неолшмпертианской теории // Вестник ПГНИУ. Серия «Экономика». 2017. № 1. Т. 12. С. 5–22. DOI: 10.17072/1994-9960-2017-1-5-22.
- Bowen W. (1986). The puny payoff from office computers. *Fortune*, May 26, pp. 20–24.
- Castelo-Branco I., Cruz-Jesus F., Oliveira T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, vol. 107, pp. 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>.
- Horvat D., Kroll H., Jäger A. (2019). Researching the effects of automation and digitalization on manufacturing companies' productivity in the early stage of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, vol. 39, pp. 886–893. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.401>.
- Li Y., Dai J., Cui L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, vol. 229(C), art. no. 107777. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107777.
- Lu Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 6, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.
- Macdonald S., Anderson P., Kimbel D. (2000). Measurement or management? Revisiting the productivity paradox of information technology. *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung*, vol. 69, issue 4, pp. 601–617. DOI: 10.3790/vjh.69.4.601.

Machado C. G., Winroth M., Carlsson D., Almström P., Hallin M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>.

Philbeck T., Davis N. (2019). The Fourth Industrial Revolution: Shaping a new era. *Journal of International Affairs*, vol. 72, no. 1, pp. 17–22.

Raj A., Dwivedi G., Sharma A., Sousa Jabbour A.B., Rajak S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, vol. 224, art. no. 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>.

Ribeiro da Silva E. H. D., Shinohara A. C., Pinheiro de Lima E., Angelis J., Machado C.G. (2019). Reviewing Digital Manufacturing concept in the Industry 4.0 paradigm. *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 240–245. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.042>.

Solow R. (1987). We'd Better Watch Out, review of S.S. Cohen and J. Zysman's *Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*. *New York Times Book Review*, p. 36. Available at: <https://economicsociologydotorg.files.wordpress.com/2018/07/wed-better-watch-out.pdf>.

Strassman P. (1990). *The business value of computers*. New Canaan, CT: Information Economics Press. 530 p.

Triplet J. E. (1999). The Solow productivity paradox: What do computers do to productivity? *The Canadian Journal of Economics*, vol. 32, no. 2, pp. 310–334.

### Информация об авторе

**Сухарев Олег Сергеевич**, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Института экономики Российской академии наук, 117248, Москва, Нахимовский проспект, 32  
Контактный телефон: +7 (499) 724-15-41, e-mail: [ieras@inecon.ru](mailto:ieras@inecon.ru)

...

### References

Abalkin L. I. (2005). *Rossiya: poisk samoopredeleniya* [Russia: The search for self-determination]. Moscow: Nauka Publ. 464 p. (in Russ.)

Bodrunov S. D. (2014). Reindustrializatsiya: kruglyy stol v Vol'nom ekonomicheskom obshchestve [Reindustrialization: A round table in the Free Economic Society]. *Mir novoy ekonomiki = World of New Economy*, no. 1, pp. 12–13. (in Russ.)

Glazyev S. Yu. (2017). *Bitva za liderstvo v XXI veke. Rossiya, SShA, Kitay. Sem' variantov blizhayshego budushchego* [The battle for leadership in the 21st century. Russia, USA, China. Seven options for the near future]. Moscow: Knizhnyy mir Publ. 352 p. (in Russ.)

Gubanov S. S. (2014). *Neoindustrializatsiya Rossii i nishcheta ee sabotazhnoy kritiki* [New industrialisation of Russia and the poverty of its sabotage criticism]. *Ekonomist = Economist*, no. 3, pp. 3–32. (in Russ.)

Dementyev V. E. (2017). Possibilities of adapting to the productivity paradox when modernising the technological base of the economy. In: Kleyner G. B. (ed.) *Sbornik statey 5-y Vserossiyskoy konferentsii "Lvovskie chteniya – 2017"* [Collection of articles of the 5th All-Russian Conf. "Lvov readings – 2017"]. Moscow: State University of Management. pp. 26–28. (in Russ.)

Zang B. (1999). *Sinergeticheskaya ekonomika. Vremya i peremeny v nelineynoy ekonomicheskoy teorii* [Synergetic economics. Time and changes in nonlinear economic theory]. Moscow: Mir Publ. 335 p. (in Russ.)

Lvov D. S. (2002). *Ekonomika razvitiya* [Development economics]. Moscow: Ekzamen Publ. 512 p. (in Russ.)

Popov E. V., Sukharev O. S. (2018a). Dvizhenie k tsifrovoy ekonomike: vliyanie tekhnologicheskikh faktorov [Movement towards digital economy: The impact of technological factors]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics, Taxes & Law*, no. 1, pp. 26–35. DOI: 10.26794/1999-849X-2018-11-1-26-35. (in Russ.)

Popov E. V., Sukharev O. S. (2018b). Tsifrovaya ekonomika: irratsional'nyy optimizm upravleniya i finansirovaniya [Digital economy: “Irrational optimism” of management and financing]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics, Taxes & Law*, no. 2, pp. 6–17. DOI: 10.26794/1999-849X-2018-11-2-6-17. (in Russ.)

Silin Ya. P., Animitsa E. G., Novikova N. V. (2019). Teorii ekonomicheskogo rosta i ekonomicheskogo tsikla v issledovanii regional'nykh protsessov novoy industrializatsii [Theories of economic growth and economic cycles in the research of regional processes of new industrialisation]. *Journal of New Economy*, vol. 20, no. 2, pp. 5–29. DOI: 10.29141/2073-1019-201920-2-1. (in Russ.)

Skipkin K. G. (2015). Paradoks proizvoditel'nosti informatsionnykh tekhnologiy: sovremennoe sostoyanie v mire i v Rossii [IT productivity paradox: Present state of research in the world and in Russia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*, no. 395, pp. 172–178. (in Russ.)

Strizhakova E. N., Strizhakov D. V. (2019). Razvitie innovatsionnoy ekonomiki: problemy i vozmozhnosti [The development of an innovative economy: problems and opportunities.]. *Vestnik Evraziyskoy nauki = The Eurasian Scientific Journal*, no. 1. Available at: <https://esj.today/PDF/09ECVN119.pdf>. (in Russ.)

Sukharev O. S. (2011). *Ekonomicheskaya politika i razvitie promyshlennosti* [Economic policy and industrial development]. Moscow: Finansy i statistika Publ. 216 p. Available at: <http://osukharev.com/images/file/f8.pdf>. (in Russ.)

Sukharev O. S. (2012). *Evolutsiya ekonomicheskikh sistem: strukturnye izmeneniya, problemy tekhnologicheskogo razvitiya i effektivnosti* [Evolution of economic systems: Structural changes, problems of technological development and efficiency]. Novocherkassk: NOK Publ. 120 p. (in Russ.)

Sukharev O. S. (2020). Industrializatsiya 4.0 i modeli tekhnologicheskogo razvitiya dlya preodoleniya effekta “2D” [Industrialisation 4.0 and models of technological development to overcome the 2-D effect]. *Vestnik YuRGPU (NPI). Seriya «Ekonomika» = Bulletin of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Series “Economics”*, no. 1, pp. 4–23. (in Russ.)

Tatarkin A. I. (2015). Novaya industrializatsiya ekonomiki Rossii: potrebnost' razvitiya i/ili vyzovy vremeni [New industrialization of the Russian economy: The need for development and / or challenges of the time]. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = Economic Revival of Russia*, no. 2 (44), pp. 20–31. (in Russ.)

Tatarkin A. I. (2014) Sotsial'nyy vektor smeshannoy modeli ekonomicheskogo razvitiya Rossii [The social vector of the mixed model of economic development in Russia]. *Vestnik finansovogo universiteta = Bulletin of the Financial University*, no. 6, pp. 10–21. (in Russ.)

Tatarkin A. I., Sukharev O. S., Strizhakova E. N. (2017). Opredelenie vektora novoy promyshlennoy politiki na osnove neoshumpeterianskoy teorii [Determination of the vector of new industrial policy on the basis of neo-Schumpeterian theory]. *Vestnik PGNIU. Seriya “Ekonomika” = Perm University Herald. Economy*, no. 1, vol. 12, pp. 5–22. DOI: 10.17072/1994-9960-2017-1-5-22 (in Russ.)

Bowen W. (1986). The puny payoff from office computers. *Fortune*, May 26, pp. 20–24.

Castelo-Branco I., Cruz-Jesus F., Oliveira T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry*, vol. 107, pp. 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>.

Horvat D., Kroll H., Jäger A. (2019). Researching the effects of automation and digitalization on manufacturing companies' productivity in the early stage of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, vol. 39, pp. 886–893. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.401>.

Li Y., Dai J., Cui L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, vol. 229(C), art. no. 107777. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107777.

Lu Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 6, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

Macdonald S., Anderson P., Kimbel D. (2000). Measurement or management? Revisiting the productivity paradox of information technology. *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung*, vol. 69, issue 4, pp. 601–617. DOI: 10.3790/vjh.69.4.601.

Machado C. G., Winroth M., Carlsson D., Almström P., Hallin M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 1113–1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>.

Philbeck T., Davis N. (2019). The Fourth Industrial Revolution: Shaping a new era. *Journal of International Affairs*, vol. 72, no. 1, pp. 17–22.

Raj A., Dwivedi G., Sharma A., Sousa Jabbour A.B., Rajak S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, vol. 224, art. no. 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>.

Ribeiro da Silva E. H. D., Shinohara A. C., Pinheiro de Lima E., Angelis J., Machado C.G. (2019). Reviewing Digital Manufacturing concept in the Industry 4.0 paradigm. *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 240–245. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.042>.

Solow R. (1987). We'd Better Watch Out, review of S.S. Cohen and J. Zysman's *Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy*. *New York Times Book Review*, p. 36. Available at: <https://economicsociologydotorg.files.wordpress.com/2018/07/wed-better-watch-out.pdf>.

Strassman P. (1990). *The business value of computers*. New Canaan, CT: Information Economics Press. 530 p.

Triplet J. E. (1999). The Solow productivity paradox: What do computers do to productivity? *The Canadian Journal of Economics*, vol. 32, no. 2, pp. 310–334.

#### Information about the author

**Oleg S. Sukharev**, Dr. Sc. (Econ.), Prof., Chief Researcher of the Institute of Economics of RAS, 32 Na-  
khimovsky Ave., Moscow, 117248, Russia  
Phone: +7 (499) 724-15-41, e-mail: [ieras@inecon.ru](mailto:ieras@inecon.ru)

© Сухарев О. С., 2021