

УДК 338.4

СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ «ИНДУСТРИЯ 4.0»

© 2018 г.

В.Г. Фролов, В.Я. Захаров, Д.И. Каминченко, А.А. Павлова

Фролов Владислав Генрихович, к.э.н., доц.; доцент кафедры экономики фирмы
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
frolov.unn@gmail.com

Захаров Владимир Яковлевич, д.э.н., проф.; профессор кафедры экономики фирмы
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
zaharov48@yandex.ru

Каминченко Дмитрий Игоревич, к.э.н.; ассистент Нижегородского государственного университета
им. Н.И. Лобачевского
dmitkam@iee.unn.ru

Павлова Ангелина Александровна, аспирант кафедры экономики фирмы
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
angelina.pavlova@yahoo.com

*Статья поступила в редакцию 05.10.2018**Статья принята к публикации 31.10.2018*

Цель исследования – выявление и классификация эффектов развития сложных экономических систем в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0». Системный подход и метод экспертного опроса позволил проанализировать действительные результаты и возможности цифровизации российских промышленных предприятий и предложить классификацию системных и синергетических эффектов развития сложных экономических систем в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0».

Ключевые слова: цифровая экономика, системные эффекты, цифровизация, промышленные предприятия, сложные экономические системы, промышленная политика, «Индустрия 4.0».

Введение

Крайне важным при изучении стратегий развития сложных экономических систем в условиях «Индустрии 4.0» является использование системного подхода, когда предприятие или группа взаимодействующих предприятий рассматриваются как система. Вся система может приобретать такие новые особые свойства, которые не могли бы быть сформированы или получены по отдельности. В этом заключается эмерджентное свойство современных сложных экономических систем. Именно эмерджентность является главной характеристикой наличия или отсутствия системного эффекта. Как отмечают В.М. Вдовин, Л.Е. Суркова и В.А. Валентинов, эмерджентность системы – это «качество, свойства системы, которые не присущи её элементам в отдельности, а возникают благодаря объединению этих элементов в единую целостную систему» [1]. Согласно М.П. Власову и П.Д. Шимко, под эмерджентностью необходимо понимать «наличие у системы свойств целостности, или эмерджентных свойств, которые не присущи элементам системы и не являются формальным следствием свойств элементов» [2].

Системные эффекты, выраженные через призму эмерджентного свойства, следует отличать от синергетических эффектов. Как извест-

но, синергия системы заключается в том, что «результативность системы равна сумме результатов деятельности каждого элемента плюс синергетический эффект, равный дополнительному результату, вызванному взаимодействием их элементов» [1]. Таким образом, синергетический эффект в деятельности, например, группы интегрированных предприятий выражается в их общем вкладе в полученный результат плюс дополнительный эффект от их взаимного сотрудничества. В свою очередь, системный эффект (проявляющийся, как уже отмечалось, через эмерджентность) выражается в возникновении нового «прорывного» результата/показателя.

В научных работах зарубежных и российских ученых анализу эффективности цифровой трансформации промышленного производства уделено значительное внимание. Ян Смит, Стефан Креутцер, Каролин Мэллер, Малин Арлберг проанализировали общие сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, связанные с «Индустрией 4.0» [3]. Многие российские авторы также анализируют возможные эффекты от цифровизации, в том числе в рамках синергии. Так, С.В. Здольникова и А.В. Бабкин отмечают, что, объединив усилия, интегрированные

предприятия достигают синергетического эффекта, который возникает в результате расширения и интенсификации инженерно-технических коммуникаций, таких как совместное использование сырья, энергии и других ресурсов, материально-технической базы, консолидация капитала и другие [4]. Р.В. Солошенко придерживается мнения о возможности достижения синергетических эффектов в российской экономике на основе активизации интеграционных и кооперационных связей объектов системы при учете сбалансированности воспроизводственных процессов [5].

Проанализировав имеющуюся совокупность научных работ по обозначенной теме, можно сделать вывод о том, что авторы этих исследований выделяют отдельные эффекты, которые являются наиболее важными для производства продукции в условиях цифровой трансформации промышленности [1–7]. Здесь, на наш взгляд, необходимо применение системного подхода. Также большинство исследований посвящено изучению возможностей «Индустрии 4.0» на основе потенциала и условий функционирования промышленных комплексов ведущих зарубежных стран [8–12]. Однако реализация одной и той же концепции в разных условиях может иметь различные результаты. Таким образом, на наш взгляд, наблюдается недостаточный уровень развития методологических основ оценки эффективности развития сложных экономических систем в условиях цифровой трансформации российской промышленности.

**Классификация системных
и синергетических эффектов развития
сложных экономических систем
в соответствии с концепцией
«Индустрия 4.0»**

Как было отмечено ранее, под системным эффектом понимается возникновение у сложной экономической системы новых свойств за счет взаимодействия составляющих систему элементов. Однако результатом объединения элементов в новую единую систему может быть как возрастание, так и снижение эффективности деятельности. В таблице 1 и на рисунке 1 приведены результаты проведенного нами экспертного опроса в отношении эффектов цифровизации среди руководителей различного уровня более 40 российских промышленных предприятий: IT-директоров, менеджеров в различных функциональных направлениях деятельности. Период проведения опроса: октябрь 2017 года – май 2018 года. Участники ответили на 28 вопро-

сов относительно понимания стратегии «Индустрия 4.0» и внедрения процессов цифровизации в деятельность промышленных предприятий.

В отношении потенциальных возможностей внедрения принципов «Индустрии 4.0» на промышленных предприятиях опрошиваемые эксперты дали следующую оценку (рис. 1). Респонденты обозначили, что наибольший эффект (84.6%) будет достигнут в направлении оптимизации производства. Следующий весомый эффект ожидается в направлении появления новых бизнес-моделей (71.8%). На третьем месте – увеличение удовлетворенности конечного потребителя (51.3%). Не случайно все последние стандарты группы ISO по отраслям ставят конечной целью любой оптимизации стремление к росту уровня удовлетворенности конечного потребителя, например за счет увеличения гибкости производства и скорости реакции на запросы на изменение.

Важным, на наш взгляд, также является характеристика рисков цифровизации, которые будут являться своеобразными ограничениями в контексте развития возможностей и образования эффектов от внедрения. Так, результаты опроса показали следующие наиболее весомые риски цифровизации, отмеченные экспертами (табл. 1).

Эксперты российских предприятий отметили следующие ключевые риски цифровизации, которые могут уменьшить потенциальные эффекты от внедрения современных цифровых технологий:

- 1) проблемы, связанные с внедрением самих технологий «Индустрии 4.0»;
- 2) безопасность данных;
- 3) отсутствие рыночной потребности для постановки задачи создания решения (программного продукта) в рамках «Индустрии 4.0».

Управление рисками является одной из девяти областей знаний, распространяемых Институтом управления проектами (PMI), и, вероятно, самым сложным аспектом управления проектами. Кроме того, управление рисками в контексте управления проектами представляет собой комплексный и систематический способ выявления, анализа и реагирования на риски для достижения целей проекта [8]. Если действующая система менеджмента рисков оказывается недостаточной, необходимо принять меры для управления уровнем риска до приемлемого и разумного уровня. В настоящее время внедрение надлежащего управления рисками или системы безопасности внутри организаций, особенно крупных, стало юридическим требованием сверх морального обязательства защищать своих сотрудников [9]. За последние несколько лет появилось управление корпоративными

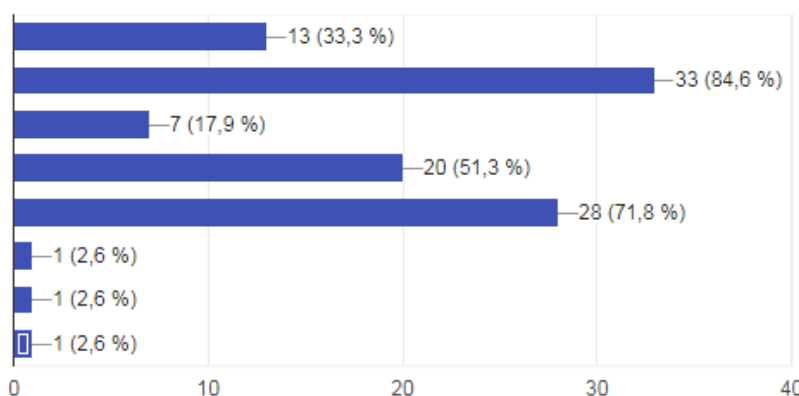


Рис. 1. Ожидаемые эффекты цифровизации по результатам опроса (сверху вниз): увеличение объемов продаж; оптимизация производства; расширение портфеля товаров и услуг; повышение качества обслуживания клиентов; появление новых бизнес-моделей; другие. Всего 39 ответов

Таблица 1

Экспертная оценка руководителей российских предприятий рисков цифровизации

Вид риска	Экспертная характеристика значимости, %
Проблемы внедрения технологий (доступность ПО, срок амортизации, необходимость наличия способности взаимодействия разных программных средств и платформ)	78.9
Безопасность данных	68.4
Разработка решений в условиях отсутствия конкретной потребности (прогнозы решений, которые могут понадобиться)	31.6
Проблема стандартизации	20.6
Несвоевременная подготовка персонала	2.6
Нерациональное использование технологий (технологии ради технологий)	2.6

рисками (ERM), которое часто обозначается как новая бизнес-тенденция, основанная на принципах традиционного управления рисками.

С помощью индикаторов риска можно контролировать определенный риск, а также группу коррелирующих рисков. Они предоставляют информацию о риске, такую как система предупреждения о будущих угрозах, методы реагирования на риск. Существует пробел в вопросе о подключении KRI (ключевой индикатор результата) и KPI (ключевые показатели эффективности) во всех процессах проектной деятельности. Нет систематической основы того, как эффективно связывать эти два показателя и использовать их в сотрудничестве. Идея заключается в том, что в сотрудничестве они должны иметь возможность предоставлять полезные данные для повышения эффективности работы проекта (на основе методологий, которые используются в вопросах производительности) и управления рисками в целом. Цель идентификации рисков в рамках цифрового предприятия состоит в том, чтобы создать полный перечень рисков, основанных на событиях, которые могут создавать, улучшать, предотвращать, ускорять или замедлять достижение целей.

Процессы интеграции, проходящие на стандартном промышленном предприятии и цифровом, можно разделить на вертикальные и гори-

зонтальные. Вертикальная интеграция указывает на растущий обмен информацией и сотрудничество между различными уровнями иерархии (управление, корпоративное планирование, планирование производства) внутри предприятия. Горизонтальная интеграция описывает тесное сотрудничество между несколькими предприятиями в рамках одной сети создания стоимости [10].

Условием функциональности обеих форм интеграции является широкая доступность эффективных и доступных сенсорных сетей (например, радиочастотная идентификация, RFID). На основе этого создаются интеллектуальные («умные») объекты и устройства, которые позволяют осуществлять связь в реальном времени между машинами, рабочими ресурсами и прикладными системами. В совокупности эти технологические разработки обеспечивают основу для внедрения новых производственных процессов и бизнес-моделей на так называемых интеллектуальных заводах [11, 12].

Рассмотрим эффекты цифровизации по мнению зарубежных экспертов. По данным компании McKinsey, эффект от внедрения технологий и концепции «Индустрии 4.0» в России предполагается ежегодно на уровне 1.3–4.1 трлн рублей, что определено исходя из расчетного эффекта внедрения технологий «Индустрии 4.0» в

Таблица 2

Эффекты цифровизации промышленных предприятий на основе отчета компании McKinsey [13]				
Ежегодный эффект от цифровизации промышленного производства в России (1.3–4.1 трлн руб.)				
Управление производственными операциями (0.64–2.24 млрд руб.)	Превентивное обслуживание (0.32–0.85 млрд руб.)	Оптимизация товарных запасов (0.16–0.55 млрд руб.)	Здравоохранение и безопасность (0.11–0.37 млрд руб.)	Предпродажная аналитика (0.20 млрд руб.)
Производительность работников (0.02–0.06 млрд руб.)	Оптимизация послепродажного обслуживания (0.50–0.275 млрд руб.)			
НИОКР и основное производство (0.01–0.06 млрд руб.)	Удлинение жизненного цикла оборудования (0.14–0.39 млрд руб.)			
Логистика и складское хозяйство (0.01–0.02 млрд руб.)	Увеличение технической доступности оборудования (0.13–0.19 млрд руб.)			

развивающихся странах с поправкой на долю ВВП России в общем ВВП развивающихся стран [13].

По прогнозам компании McKinsey [13], внедрение современных технологий способно значительно улучшить деятельность предприятий в целом ряде областей. Например, в области управления производственными операциями технологии «Индустрии 4.0» могут содействовать оптимизации и автоматизации основных производственных и управленческих бизнес-процессов, повысить эффективность использования оборудования за счет обработки получаемых в реальном времени массивов данных и выявления скрытых взаимосвязей, а также усовершенствовать планирование расхода сырья и графика выпуска готовой продукции. В области обслуживания оборудования современные технологии позволяют выстроить систему превентивного обслуживания, функционирующую на основе прогностических моделей с использованием данных, получаемых в реальном времени, которые помогают оценить реальную потребность оборудования в обслуживании и ремонте и оптимизировать эти процессы. Подобные системы способствуют повышению коэффициента технической готовности оборудования и продлевают жизненный цикл оборудования за счет более эффективного обслуживания. Цифровизация открывает перед компаниями интересные перспективы повышения эффективности в сфере управления складскими запасами и логистическими процессами предприятия. Внедрение автоматизированных систем управления цепочками поставок позволяет добиться значительной оптимизации запасов готовой продукции, сырья, запасных частей, хранящихся на складах предприятия. Цифровые инструменты также сокращают логистические издержки, помогают эффективнее планировать маршруты, контролировать загрузку транспорта, точнее расставляют

приоритеты логистических операций в масштабах всего предприятия.

Используя результаты, полученные в предыдущих исследованиях [14, 15], результаты проведенного нами экспертного опроса, а также общедоступные аналитические данные, попробуем классифицировать эффекты развития сложных экономических систем в условиях «Индустрии 4.0» (результаты представлены в табл. 3 и 4).

К синергетическому типу эффектов могут быть отнесены: значительное повышение производительности и рентабельности производства, значимое сокращение производственного цикла выпускаемой продукции (это возможно при задействовании в процессе промышленного производства сразу нескольких высокотехнологических площадок интегрированных предприятий), повышение производительности совместной работы между структурными подразделениями (тесная интеграция и кооперация высокопроизводительных промышленных предприятий создает ощутимые предпосылки для тесного и гибкого сотрудничества их структурных подразделений, создавая целую сеть взаимодействующих субъектов в рамках взаимодействующих предприятий), управление внутренними производственными операциями; повышение точности прогнозирования; оптимизация производства (в формировании этих трех указанных эффектов определяющую роль играет использование производственных мощностей и технологических ресурсов интегрированных предприятий) и другие. Указанные эффекты могут быть отнесены непосредственно к синергетическому типу эффектов, так как при их достижении не приобретает новое качество системы, а происходит повышение эффективности деятельности организации.

Таблица 3

**Классификация синергетических эффектов развития сложных экономических систем
в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0»**

Вид синергетического эффекта	Детализация
Критерий классификации: функциональная направленность	
Синергетический эффект в логистике	<p>Направление синергии: повышение эффективности логистических операций</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Повышение скорости реакции системы на изменения • Повышение удовлетворенности конечного потребителя • Использование возможностей по заполняемости тары и средств перевозки
Синергетический эффект в финансово-экономической деятельности	<p>Направление синергии: повышение эффективности финансово-экономической деятельности предприятия</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Значительное повышение производительности труда • Значительное повышение рентабельности производства
Синергетический эффект в управлении производством	<p>Направление синергии: оптимизация производственных процессов за счет применения новых технологий «Индустрии 4.0»</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сокращение производственного цикла • Снижение затрат • Сокращение времени при принятии решений • Приведение производственного цикла к международным стандартам • Повышение производительности совместной работы между структурными подразделениями • Сокращение времени простоя оборудования • Распределение загрузки производящих средств и персонала, совершенствование работы по принципам JIT, JIS • Сокращение производственных запасов
Синергетический эффект в прогнозировании	<p>Направление синергии: повышение качества прогнозирования</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Повышение точности прогнозирования
Критерий классификации: по природе возникновения	
Внешние (по отношению к одному или нескольким интегрированным предприятиям) системные эффекты (опосредованы прежде всего воздействием внешней среды, например необходимостью соответствовать конкурентным требованиям со стороны других предприятий или предпочтениям конечных потребителей)	<p>Направление синергии: повышение эффективности логистических операций</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Повышение скорости реакции системы на изменения • Повышение удовлетворенности конечного потребителя
Внутренние (по отношению к одному или нескольким интегрированным предприятиям) системные эффекты (опосредованы прежде всего задачами внутреннего развития и совершенствования принципов работы внутри предприятия или группы интегрированных предприятий)	<p>Направление синергии: повышение эффективности производственной и финансово-экономической деятельности предприятия</p> <p>Влияние на показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Значительное повышение производительности труда • Значительное повышение рентабельности производства • Сокращение производственного цикла • Снижение затрат • Сокращение времени при принятии решений • Приведение производственного цикла к международным стандартам • Повышение производительности совместной работы между структурными подразделениями • Сокращение времени простоя оборудования • Распределение загрузки производящих средств и персонала, совершенствование работы по принципам JIT, JIS • Сокращение производственных запасов • Повышение точности прогнозирования

Таблица 4

**Классификация системных эффектов развития сложных экономических систем
в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0»**

Вид системного эффекта	Детализация
Критерий классификации: функциональная направленность	
Системный эффект в проектировании продукции	Цифровые двойники продукта, использование которых позволяет значительно снизить затраты и сократить время выхода продукта на рынок
Системный эффект в управлении предприятием	Появление новых бизнес-моделей; децентрализация процессов управления; полностью электронный документооборот внутри и за пределами промышленного предприятия, а также в кластере между партнерами; непрерывный контроль качества
Системный эффект в логистике	Новый тип интеллектуальной, связанной и гибкой цепочки создания стоимости
Системный эффект в маркетинге	Кастомизированная продукция массового производства, использование больших массивов статистических данных (big data), которые собираются группой предприятий
Системный эффект в обеспечении информационной безопасности	Высокая зависимость от устойчивости технологий и сетей; потенциальная потеря контроля над предприятием, группой предприятий; влияние на время бесперебойной работы информационных систем интегрированных предприятий
Системный эффект в управлении персоналом	Перераспределение знаний и умений работников в новые или смежные направления; сокращение штата исполнителей повторяющихся операций; перемещение акцента на оттачивание персональных профессиональных навыков и умений, на развитие умений во взаимодействии человек/робот
Критерий классификации: по природе возникновения	
Внешние (по отношению к одному или нескольким интегрированным предприятиям) системные эффекты (опосредованы прежде всего воздействием внешней среды, например необходимостью соответствовать конкурентным требованиям со стороны других предприятий или предпочтениям конечных потребителей)	Появление новых бизнес-моделей; новый тип интеллектуальной, связанной и гибкой цепочки создания стоимости; кастомизированная продукция массового производства; высокая зависимость от устойчивости технологий и сетей; потенциальная потеря контроля над предприятием, группой предприятий; влияние на время бесперебойной работы информационных систем интегрированных предприятий
Внутренние (по отношению к одному или нескольким интегрированным предприятиям) системные эффекты (опосредованы прежде всего задачами внутреннего развития и совершенствования принципов работы внутри предприятия или группы интегрированных предприятий)	Цифровые двойники продукта; децентрализация процессов управления; полностью электронный документооборот внутри и за пределами промышленного предприятия, а также в кластере между партнерами; непрерывный контроль качества

Теперь постараемся выделить основные системные эффекты развития сложных экономических систем в условиях «Индустрии 4.0», которые подразумевают получение какого-либо нового, «прорывного» результата. К подобному типу эффектов, на наш взгляд, могут быть отнесены следующие.

1. *Создание нового типа интеллектуальной, связанной и гибкой цепочки создания стоимости.* Использование цифровых технологий коренным образом видоизменяет процессы, входящие в цепочку создания добавленной стоимости, снижая финансовые, временные и трудовые затраты предприятия. Создание киберфизических систем, когда взаимодействие в рамках интегрированных предприятий происходит при активном взаимодействии

облачных и сенсорных технологий, позволяет говорить о совершенно новом типе цепочки создания добавленной стоимости, которую неслучайно именуют «гибкой» и «связной». В этих признаках содержится новый подход к процессам разработки, проектирования, производства и реализации промышленной продукции, где учитывается глубокая и интенсивная интеракция между предприятиями и ориентация на конечного потребителя.

2. *Появление новых бизнес-моделей.* Возникновение новых бизнес-моделей, учитывающих изменения, вызванные внедрением на производстве киберфизических систем, может быть рассмотрено и как системный эффект развития промышленных предприятий. Несмотря на уже

имеющиеся эмпирические примеры глубокого и интерактивного типа сотрудничества предприятий, существует большой потенциал для возникновения новых форм сотрудничества различных предприятий, активно внедряющих и использующих в процессе промышленного производства технологии «Индустрии 4.0». Это, в свою очередь, открывает прорывные возможности для построения новых бизнес-моделей, учитывающих ещё более тесное и «гибкое» сотрудничество.

3. *Производство кастомизированной продукции в серийном производстве; увеличение удовлетворенности конечного потребителя.* Подобный эффект необходимо отнести к системному типу, что обусловлено индивидуализацией процесса серийного промышленного производства в условиях «Индустрии 4.0» и участием сразу группы предприятий в производстве конечного продукта, причём в рамках производственного процесса каждое из предприятий, в том числе относящееся к сфере услуг, выполняет свою сугубо конкретную функцию. Всё это создает совершенно новый, «прорывной» эффект/результат, направленный на удовлетворение конкретного потребителя. Кроме того, необходимо отметить, что особую новизну подобной продукции придает использование соответствующих технологических инструментов (датчиков), позволяющих отслеживать и определять состояние продукции в тот или иной период её потребления.

4. *Потенциальная потеря контроля над предприятием,* высокая зависимость от устойчивости технологий и сетей, когда небольшие сбои могут привести к серьезным последствиям (данный эффект, безусловно, имеет место ввиду увеличения числа партнеров-предприятий, сотрудничающих в рамках системы, что увеличивает и риски, связанные с уязвимостью информационно-коммуникационных систем, поддерживающих сотрудничество предприятий) и другие.

Заключение

Результаты исследования являются неотъемлемой частью формирования методологии, необходимой для обеспечения развития сложных экономических систем в условиях цифровой трансформации промышленности, в том числе создания принципиально новых бизнес-моделей, цепочек создания добавленной стоимости, организационно-экономических механизмов обеспечения и оценки эффективности развития сложных экономических систем «Индустрии 4.0».

Полученная нами классификация системных и синергетических эффектов будет использована в дальнейших исследованиях для создания методики оценки и мониторинга эффективности развития сложных экономических систем в соответствии с концепцией «Индустрия 4.0».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00781.

Список литературы

1. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ. 3-е изд. М.: Дашков и К, 2018. 644 с.
2. Власов М.П., Шимко П.Д. Оптимальное управление экономическими системами: Учебное пособие. М.: НИЦ «ИНФРА-М», 2014. 312 с.
3. Smit J., Kreutzer S., Moeller C., Arlberg M. Industry 4.0 / European parliament. 2016.
4. Zdolnikova S.V., Babkin A.V. Integrated industrial structures as a tool for implementing the synergetic approach to forming the industrial policy // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2016. № 2 (240). С. 80–88.
5. Солошенко Р.В. Систематизация синергетических эффектов в экономике // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 15–18.
6. Иванов А., Токаренко Р. Планирование ремонтов: выбор оптимального пути [Электронный ресурс]. URL: <http://www.osp.ru/cio/2009/02/7135198>.
7. Мизюн В.А., Похлебкин С.А. Интегрированные системы визуального управления производством, диагностики и планирования ремонта технологического оборудования в химической промышленности: эффект синергии // Организатор производства. 2012. Т. 52. № 1. С. 37–41.
8. Banaitiene N. and Banaitis A. Risk Management in Construction Projects // In: Risk Management – Current Issues and Challenges, InTech, 2012.
9. Malik S.A., Holt B. Factors that affect the adoption of Enterprise Risk Management (ERM) // OR Insight. 2013. Vol. 26, 4. P. 253–269.
10. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective // World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Mech. Aerospace, Ind. Mechatron. Manuf. Eng. 2013. 8(1). P. 37–44.
11. Niesen T., Houy C., Fettke P., Loos P. Towards an integrative big data analysis framework for data-driven risk management in Industry 4.0 // 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). 2016. P. 5065–5074.
12. Lucke D., Constantinescu C., Westkämper E. Smart factory – A step towards the next generation of manufacturing // Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontiers. London: Springer London, 2008. P. 115–118.

13. Аптекман А., Калабин В., Клинцов В. и др. Цифровая Россия: новая реальность. URL: https://www.mckinsey.com/ru/~/_media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx.

14. Сидоренко Ю.А., Фролов В.Г., Павлова А.А. Основные экономические факторы развития автомобильного производства в России в рамках концепции

Индустрия 4.0 // Цифровая трансформация экономики и промышленности: проблемы и перспективы / Под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2017. С. 296–317.

15. Фролов В.Г., Павлова А.А. Анализ рисков в проектной деятельности промышленного предприятия в рамках стратегии Индустрия 4.0 // Экономика и предпринимательство. 2017. № 10-1 (87). С. 880–886.

SYSTEMIC EFFECTS OF COMPLEX ECONOMIC SYSTEMS DEVELOPMENT IN ACCORDANCE WITH THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT

V.G. Frolov, V.Ya. Zakharov, D.I. Kaminchenko, A.A. Pavlova

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

The aim of the study is to identify and classify the effects of the development of complex economic systems in accordance with the Industry 4.0 concept. Using the systems approach and the expert survey method, we analyze the actual results and possibilities of digitalization of Russian industrial enterprises and propose a classification of the systemic and synergistic effects of complex economic systems development in accordance with the Industry 4.0 concept.

Keywords: digital economy, system effects, digitalization, industrial enterprises, complex economic systems, industrial policy, Industry 4.0.