**Введение**

**УДК 330, 338.1****DOI: 10.14529/em210408**

**ИНДУСТРИЯ 4.0 И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: ОТ УСТОЙЧИВЫХ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ К ЦИФРОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

***Е.А. Лясковская***

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Индустрия 4.0, основанная на производственных системах, использующих информационные технологии, включает в себя сочетание умных фабрик, продуктов и Интернета вещей. Она направлена на предоставление в реальном времени информации о производстве, процессах, оборудовании, продуктах и потоках и интеграцию этой информации для принятия эффективных решений с позиции экономических, экологических и социальных результатов. Изначально созданная для решения проблем «неустойчивого производства» Индустрия 4.0 сегодня меняет все сферы современного общества, являясь одновременно и угрозой и возможностью устойчивого развития.

В работе проведен библиографический анализ публикаций БД Scopus, посвященных Индустрии 4.0, уточнены технические и экономические предпосылки для ее появления, понятия и сущностное содержание. Систематизированы характеристики Индустрии 4.0 и формирующие ее технологии, их влияние на общество и экономику. Выделены основные принципы и тренды Индустрии 4.0, систематизированы и уточнены особенности, компоненты и принципы устойчивого производства и устойчивых бизнес-моделей в Индустрии 4.0 на микро-, мезо- и макроэкономическом уровнях. Исследованы трансформация концепции устойчивого развития и роль Индустрии 4.0 в достижении целей устойчивого развития, включая предпосылки появления, новые возможности и угрозы, связанные с внедрением цифровых бизнес-моделей. Проанализировано влияние бизнес-моделей и практик Индустрии 4.0 на достижение целей социальной, экономической и экологической компонент устойчивого развития.

Систематизированы IT-проблемы предприятий, включенных в Индустрию 4.0, обоснована необходимость включения четвертой компоненты устойчивого развития – цифровой и исследования цифровой устойчивости для обеспечения устойчивого развития экономических субъектов в условиях цифровой экономики.

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, цифровая экономика, устойчивое развитие, цифровая устойчивость, устойчивые бизнес-модели, циркулярная экономика.

Создание добавленной стоимости в странах с ранней индустриализацией в настоящее время определяется переходом к четвертой стадии индустриализации, так называемой Индустрии 4.0. Это развитие следует за третьей промышленной революцией, которая началась в начале 1970-х годов и основывалась на электронике и информационных технологиях для реализации высокого уровня автоматизации производства. Если главным элементом в производственной функции постиндустриальной экономики была информация, то главным элементом Industry 4.0 являются данные [1, 5, 7].

Индустрию 4.0 характеризуют использование цифровых технологий, «умные» идеи, обеспечение постоянной связи между всеми участниками процесса, эффективность и соответствие принципам устойчивого развития.

Индустрия 4.0 основана на использовании цифрового представления информации на всех уровнях управления и во всех видах менеджмента и представляет собой новый уровень организации производства и управления цепочками создания ценности на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции. Развитие Индустрии 4.0, основанное на создании умных городов, фабрик продуктов и сервисов, встроенных в Интернет вещей, оказывает существенное влияние на устойчивое производство и достижение целей устойчивого развития. Между тем, хотя развитие Индустрии 4.0 и предоставляет новые возможности для практик устойчивого развития по всем аспектам устойчивости – экономическому, социальному и экологическому, в современных исследованиях в большей степени рассматривается именно вклад Индустрии 4.0 в развитии практик циркулярной экономики и снижении нагрузку на окружающую среду. Устранению обозначенного разрыва и посвящено данное исследование.

**Теория**

***Индустрия 4.0: история вопроса, определение и принципы.*** Индустрия 4.0 (от англ. *Industry 4.0*) или четвертая промышленная (индустриальная) революция предполагает полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальную промышленную сеть Вещей и услуг. *Однако, что является основой для Индустрии* 4.0?

Во-первых, это технические факторы – *переход от* существования общества в рамках *аналогового представления информации* (оно существует в любой момент времени и переходит от одного объекта к другому) *к цифровому* представлению (дискретному и по величинам и моментам времени). Именно переход к цифровому представлению информации кардинально *трансформируют* все сферы *жизнедеятельности человека,* технологии и способы принятия управленческих решений.

Во-вторых, это экономические факторы, так как технологии Индустрии 4.0 и интернета вещей являются одними из практических воплощений *цифровизации*, связанные с *возможностями ее коммерциализации*.

Исследования, посвященные Индустрии 4.0 и цифровизации экономики, являются сегодня одними из самых актуальных и востребованных с практической точки зрения в различных областях знаний – от компьютерных и инженерных наук до экономики и управления. Об этом свидетельствуют как число публикаций в базах данных SCOPUS и WoS, так и программные документы, принимаемые на надстрановом уровне, а также стратегии развития и национальные программы и развитых, и развивающихся стран.

Согласно базе данных SCOPUS [1] количество публикаций, посвященных Индустрии 4.0, опубликованных с 2013 года, превышает 20 тысяч (рис. 1).

Закономерно, что большинство из них затрагивают инженерные, компьютерные и технические аспекты. Вопросы управления в Индустрии 4.0 находятся на третьем месте (рис. 2).

Интересна и «география» публикаций, посвященных индустрии 4.0. В тройку лидеров входят Германия (2943), Италия (1969) и Китай (1579) (рис. 3).

Большинство исследователей Индустрии 4.0 подчеркивают, что *отсутствие практических инструментов для внедрения практик Индустрии 4.0 является серьезным препятствием для использования ее потенциала* [2, 4].

В 2021 году термин Индустрия 4.0 отмечает свое десятилетие. Между тем, общепринятого определения термина Индустрия 4.0 к настоящему времени не выработано. Идея Индустрия 4.0 принадлежит немецкому экономисту Клаусу Швабу, президенту Всемирного экономического форума, автору бестселлера с одноименным названием «Индустрия 4.0». Можно выделить узкий и широкий подход к пониманию этого термина. В первом случае, она является одним из 10 проектов «государственной Hi-Tech стратегии» Германии до 2020 года, который описывает концепцию «умного производства» на базе глобальной промышленной сети интернета вещей и услуг (Internet of Things and Services). Впервые концепция Индустрии 4.0 была представлена в 2011 году промышленной выставке-ярмарке в Ганновере [7].

Широкий подход к Индустрии 4.0 означает использование этого термина как синонима четвертой промышленной революции, включающей массовое внедрение «киберфизических систем в производство и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг» (рис. 4).

Основными технологиями Индустрии 4.0 являются киберфизические системы, Интернет вещей, большие данные и облачное производство (рис. 5). Соединяясь с виртуальным миром, материальный мир создает «киберфизические комплексы», которые объединяются в единую цифровую экосистему [7].

Подчеркнем, что важная особенность четвертой промышленной революции состоит в том, что в отличие от своих предшественниц, она является «прогнозируемой», позволяя предприятиям «предпринимать определенные действия до того, как она произойдет». Отсюда предприятия могут определить свою «целевую производственную модель», а затем спланировать «дорожную карту трансформации» в рамках перехода к Индустрии 4.0 [10, 13].

Закономерно, что не все организации способны пройти этап цифровой трансформации. Как пример можно привести факт, что сегодня существует только 52 % компаний из рейтинга «Fortune 500» 2000 года. Рассматривая влияние четвертой промышленной революции на общество и экономику, можно выделить 4 тренда. Во-первых, использование *платформ социальных сетей* для связи, обучения и поиска информации. Во-вторых, использование *цифровых платформам* для создания, продвижения и продажи товаров и услуг. В-третьих, *включение потребителей* в производственные и распределительные цепочки. В-четвертых, *изменение ожидания* потребителей и «движение к совместным инновациям», в том числе в организационных формах [4, 6, 12].

***Устойчивое производство и устойчивые отрасли в Индустрии 4.0.*** Внедрения устойчивых бизнес-моделей в Индустрии 4.0 обеспечивается на всех уровнях экономики – микро- мезо- и   
макро.

На микроуровне можно выделить четыре основных принципа Индустрии 4.0, необходимых для внедрения ее «сценариев» (рис. 6).

*Функциональная совместимость* (интероперабельность), означающая «прямое взаимодействие» или способность машин, устройств (роботов), датчиков и людей обмениваться информацией посредством технологий интернета вещей (IoT) [5, 7, 11, 13, 15].

*Информационная прозрачность* или способность систем создавать виртуальные (цифровые) копии реальных систем. Прозрачность появляется на основе интероперабельности и является результатом прямого взаимодействия. Достигается в результате дополнения информационных моделей данными, поступающими от различных сенсоров   
в режиме *реального времени*. Для достижения

**Рис. 1. Динамика публикаций, посвященных Индустрии 4.0, в БД SCOPUS**

**Рис. 2. Тематика публикаций, посвященных Индустрии 4.0, в БД SCOPUS**

**Рис. 3. География публикаций, посвященных Индустрии 4.0, в БД SCOPUS**

**Рис. 4. Основные характеристики промышленных революций**

**Рис. 5. Основные технологии Индустрии 4.0**

**Рис. 6. Основные принципы Industry 4.0 на микроуровне**

*информационной прозрачности* необходимо обеспечить сбор данных с сенсоров и датчиков в рамках генерируемого ими контента. В результате в виртуальном мире создаются цифровые копии реальных объектов, систем и функций, которые точно повторяют все, что происходит с их «физическими клонами». В результате в цифровых двойниках накапливается информация обо всех процессах, происходящих с «умным» оборудованием, производством и продуктами [5, 7, 11, 13, 15].

*Техническая поддержка и децентрализация управленческих решений* (помощь машин человеку) – это способность киберфизических систем участвовать в принятии решений путем сбора, анализа и визуализации информации (Big Data Analysis). Это приводит к децентрализации принятия управленческих решений и даже делегированию некоторых из них на киберфизические системы. Техническая поддержка также состоит в замещении людей при выполнении шаблонных или опасных операций. Конечная стадия процесса – это автоматизация «насколько это возможно», когда киберфизические системы эффективно работают без вмешательства человека или «человекозамещение». Человек при этом выполняет роль контролера, подключаясь лишь в «экстренных и нестандартных ситуациях» [5, 7, 11, 13, 15].

*Индивидуализация –* это переход от массового производства к индивидуализированному производству на основе использования автоматизированных систем. Индивидуализация достигается в результате реализации принципа прозрачности – путем обработки, информации, поступающей в режиме реального времени. Известно, что наряду с понятиями «поколения z» и «миллениалов» в современном маркетинге рассматривается «*native digital*» как поколение, выросшее в эпоху интернета, которое во всем стремится подчеркнуть *индивидуальные особенности* и привычное «к целому миру предложений персонализированной одежды, техники и мебели». Внедрение принципов Индустрии 4.0 позволяет «умным предприятиям» предлагать персонализированный товар, который при этом сопоставим по стоимости со стандартизированным продуктом. При этом достигается как снижение удельных затраты, так и повышение лояльности клиентов [5, 7, 11, 13, 15].

На *мезоуровне* можно выделить ключевые *характеристики отрасли*, функционирующей и развивающейся в парадигме *Индустрии 4.0* (рис. 7) [1, 4].

**Рис. 7. Характеристики отрасли в Индустрии 4.0**

*Горизонтальная интеграция* по всей цепочке создания стоимости означает перекрестную интеллектуальную связь *между компаниями* и внутри компании, а также цифровизацию модулей создания стоимости.

*Сквозной инжиниринг* на протяжении всего жизненного цикла продукта означает интеллектуальные перекрестные связи и цифровизацию на всех *этапах жизненного цикла продукта*: от приобретения сырья и производства продукта до его использования и окончания жизненного цикла.

*Вертикальная интеграция* и сетевые производственные системы описывают интеллектуальную перекрестную связь и цифровизацию в рамках *различных уровней агрегирования* от производственных станций до производственных ячеек, линий и заводов, а также интегрируют связанные виды деятельности цепочки создания стоимости, такие как маркетинг и продажи или развитие технологий.

Перекрестные интеллектуальные связи и цифровизация означают применение сквозного решения с использованием встроенных в облако информационных и коммуникационных технологий. Интеллектуальная перекрестная связь реализуется в производственной системе за счет применения самоорганизованно и децентрализованно работающих киберфизических систем (CPS от англ. Cyber-Physical Systems). В их основе лежат, во-первых, «прикладные сенсорные системы для сбора данных» (встроенные мехатронные компоненты), во-вторых, «исполнительные системы» для воздействия на физические процессы. Киберфизические и интеллектуальные системы становятся связанными друг с другом, в режиме реального времени они обмениваются данными через виртуальные сети, такие как облако, реализованное в Интернете вещей и услуг. Являясь частью социотехнической системы, CPS используют интерфейсы человек-машина для взаимодействия с операторами [7].

В результате достигается автоматизация всех процессов и этапов производства – цифровое проектирование и создание виртуальной копии изделия, совместная работа инженеров и дизайнеров в едином цифровом конструкторском бюро, удаленная техническая настройка оборудования на заводе для выпуска «индивидуализированного умного продукта». Затем идет автоматический заказ требуемых компонентов в определенном количестве и контроль их поставки. Финальная стадия не заканчивается мониторингом пути готового продукта до конечного клиента. В процессе эксплуатации производитель может менять настройки удаленно, обновлять прог­раммное обеспечение, предупреждать клиента о возможных поломках и принимать продукт на утилизацию [3, 7]. Таким образом, основой Индустрии 4.0 становится роботизированное производство и «умные» заводы.

Большое влияние внедрение принципов Индустрии 4.0 оказывает и на *макроуровень*, меняя глобальные «цепочки ценности». Например, роботизация заводов позволяет автопроизводителям открывать национальное производство вместо использования «cost-effective» (низкозатратного) труда рабочих из других стран [10]. В этой *связи принципы Индустрии 4.0 являются своеобразной альтернативной политическим инструментам регулирования макроэкономической ситуации*.

Наибольшую ценность и с научной, и с практической точки зрения имеет *исследование вклада Индустрии 4.0 в решение глобальных проблем человечества и достижение целей устойчивого развития*.

**Результат**

Концепция устойчивого развития (КУР) – это парадигма сбалансированного, самоподдерживающегося развития, путем взаимосвязанного достижения экологических, социальных и экономических целей. Согласно известному докладу «Наше общее будущее», устойчивое развитие – «это процесс изменений, в котором эксплуатация ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений». Сегодня КУР – это парадигма управления современными социально-экономическими системами всех уровней. На международном уровне она отражена в программных документах ООН. Подходы к реализации КУР на национальном уровне адаптируются с учетом страновых особенностей. На уровне предприятий КУР нашла отражение в понятии «triple-p» (people, planet, profit – люди, планета, прибыль) к оценке деятельности компании. На уровне функциональных стратегий компаний КУР реализуется в виде стратегий корпоративной социальной ответственности, социально ответственного маркетинга и др. [9, 10, 11, 16, 17].

***От устойчивого производства к устойчивому развитию.*** С возникновением «Индустрии 4.0» концепция устойчивого развития наполнилась новым содержанием. Это можно объяснить следующими причинами. Во-первых, изначально в первых программных документах министерства образования и исследований Германии 2011 года [5], посвященных развитию Индустрии 4.0, она рассматривалась в качестве «стратегии создания устойчивого производства». То есть Индустрия 4.0 выступала производственной концепцией, свободной от недостатков своей предшественницы, сопровождаемой истощением природных ресурсов, изменением климата и снижением качества рабочей силы (в связи со «старением и утратой ключевых навыков персоналом предприятий»). Подчеркнем, что *Индустрия 4.0* *состоит из «практик устойчивого развития»,* т. е. *устойчивость выступила «предпосылкой» развития Индустрии 4.0.*

Во-вторых, впоследствии «вокруг элементов Индустрии 4.0» стали развиваться «подрывные», «революционные» бизнес-модели, представляющие новые возможности для реализации концепции устойчивого развития – прежде всего, благодаря использованию цифровой инфраструктуры и информационно-коммуникационных технологий [2, 6]. Это бизнес-модели устойчивого производства, потребления и обращения с отходами и изменения глобальных цепочек создания стоимости (рис. 8).

Среди них, следует особо отметить платформенную экономику (*platform economy*), экономику совместного использования (*sharing economy*) и экономику приложений (*app economy*).

Ключевыми трендами развития цифровой экономики являются глобализация, бережливое потребление, постоянные изменения, цифровизация коммуникаций, социальная трансформация, технологии и инновации.

В-третьих, развитие Индустрии 4.0 не только «вписалось» в широкую дискуссию об устойчивости промышленности, но и «подняло» новые вопросы. Содействуют ли реально технологии Индустрии 4.0 устойчивому развитию? Может быть, напротив, ключевые компоненты Индустрии 4.0 (роботизация и цифровизация) представляют дополнительные угрозы и ставят человечество перед новыми глобальными вызовами?

Рассмотрение вызовов, которые ставит Индустрия 4.0, является наиболее сложным и дискуссионным моментом. Отталкиваясь от понятия «triple-p» рассмотрим влияние Индустрия 4.0. на достижении социальных, экологических и экономических целей устойчивого развития (см. таблицу).

***Индустрия 4.0: От устойчивых практик и бизнес-моделей к цифровой устойчивости.*** Проведенное исследование показало, что Индустрия 4.0. приводит к формированию устойчивых биз-

**Рис. 8. Перспективы Индустрии 4.0 в реализации устойчивого развития**

**Таблица**

**Индустрия 4.0. в достижении целей устойчивого развития**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Характеристика** |
| **Социальное** | Предприятиям Industry 4.0 не нужны рабочие для выполнения «рутинных задач». Внедрение интеллектуальных производственных систем повышает потребность в специалистах по информационным технологиям, включая квалифицированных специалистов для проектирования, разработки, запуска и обслуживания сетевых программ.  Вследствие роботизации на производственных линиях многие работники подвержены риску потери работы. Киберфизические системы в конечном итоге возьмут на себя «низкотехнологичные рабочие места». Отсюда возникает потребность в организации специальных программ переподготовки/переквалификации, чтобы рабочие смогли обслуживать «интеллектуальное оборудование».  Местное сообщество не всегда выигрывает от производственных процессов, включенных в международные логистические цепочки.  Киберфизические системы помогут сделать рабочие места более эргономичными и гибкими. Повышается качество жизни, так как управлять производственными процессами можно дистанционно. Работа будет адаптирована к потребностям личности (включая развитие семенных ценностей и личностное развитие).  Внедрение киберфизических систем открывает возможности для реализации понятия «decent work» (достойный труд), касающиеся охраны труда и безопасности на рабочих местах, вследствие замены людьми роботами на сложных и опасных операциях, которые раньше выполнялись людьми систем |
| **Экологическое** | Предприятия Industry 4.0 вследствие интеллектуального управления производственными процессами обладают возможностями для снижения образования отходов, перепроизводства и потребления энергии.  Производственные компании связаны с электростанциями и могут планировать энергоемкие задачи при естественном перепроизводстве энергии за счет энергии ветра или солнца. Избыток энергии может быть использован другими компаниями или частными домохозяйствами в окрестностях.  Интеллектуальные производственные системы требуют массивных центров обработки данных для обработки и поддержки их сетевых потребностей, которые потребляют большое количество энергии, а ресурсы, необходимые для производства энергии, негативно влияют на окружающую среду.  Возможно увеличение образования электронных отходов. Рост количества информационных устройств также создает дополнительную нагрузку на окружающую среду.  Перекрестные связи в цепочках создания стоимости в Индустрии 4.0 открывают новые возможности для реализации «замкнутых жизненных циклов продуктов и промышленного симбиоза». Жизненные циклы продуктов с замкнутым циклом способны поддерживать продукты в жизненных циклах, состоящих из нескольких этапов использования с восстановлением или повторным использованием между ними |

нес-моделей, создающих положительные или уменьшают отрицательное воздействие на окружающую и социальную сферу, то есть моделей, способных вносить существенный вклад в решение экологических и социальных проблем. Развивающиеся в Индустрии 4.0 устойчивые бизнес-модели связаны с использованием «интеллектуальных данных» для разработки, производства и продвижения товаров и услуг. Устойчивым бизнес-моделям характерна стратегическая конкурентоспособность и ориентация на достижение «тройной прибыли». *С позиции обеспечения устойчивости практики Индустрия 4.0 обладает потенциалом для внедрения фундаментальных улучшений*.

**Окончание таблицы**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Характеристика** |
| **Экономическое** | Более высокие инвестиционные затраты при более низких операционных затратах в связи с гибкостью, доступностью ресурсов и энергоэффективности. Со временем, согласно закону Мура, стоимость информационных технологий будет постоянно снижаться, однако качество будет постоянно улучшаться. Вследствие производственной гибкости предприятия, работающие по принципам Industry 4.0, менее чувствительны к конъюнктуре рынка и быстрее адаптируются к требованиям внешней среды. «Вытягивающая» логистическая система (Pull Scheduling) снижает материальные затраты, так как сырье, материалы и полуфабрикаты запрашиваются по запросу. Производственная система компании-производителя автоматически заказывает материал или детали у своих поставщиков, когда это необходимо.  За счет затрат на массовое производство деталей компании смогут изготавливать высокотехнологичные индивидуализированные детали в соответствии с требованиями заказчика. Производство можно наладить за очень короткое время, а также контролировать и контролировать даже на больших расстояниях.  На место продажи материальных продуктов придет продажа «функциональности и доступности продуктов». Это позволит эффективно координировать потоки продукта, материалов, энергии и воды на протяжении жизненного цикла продукта, а также между различными предприятиями Industry 4.0.  На место прямой конкуренции придет «промышленный симбиоз» или сотрудничество предприятий для реализации конкурентного преимущества путем обмена продуктами, материалами, энергией, водой а также интеллектуальными данными на местном уровне.  Распределение ресурсов, продуктов, материалов, энергии и воды будет реализовано более эффективным способом на основе интеллектуальных взаимосвязанных модулей создания стоимости |

Так, принципы Индустрии 4.0 создают основу для обеспечения социальной устойчивости, равенства и равноправия. Он затрагивают условия и характеристики труда, рабочего времени, новые трудовые навыки, здоровье и безопасность персонала. Интеллектуальные системы позволяют приспосабливаться к изменениям внешней среды, сокращать отходы и перепроизводство – это вклад в достижение экономической устойчивости (добавленная стоимость и ресурсная эффективность). Предприятия Индустрии 4.0 используют сетевые технологии, чтобы связать свое производство с поставщиками и клиентами. Благодаря интеллектуальным системам управления энергопотреблением и сетевым технологиям возобновляемые источники энергии используются более эффективно. Это вклад в экологическую компоненту устойчивости – защиту окружающей среды (низкое содержание углерода, экологические инновации).

Однако, *являясь инструментом для создания устойчивых промышленных ценностей парадигма, Индустрия 4.0 инициирует возникновение новой проблемы. И главным компонентой устойчивости становится проблема данных и информации*. Данные, собранные из множества источников, должны быть коллективно интегрированы в производство, чтобы стать интеллектуальной производственной системой. Информационные технологии, включающие сбор, регистрацию информации, ее передачу, кодирование, обработку и использование, приобретают критическую важность.

Среди проблем, которые необходимо решать предприятиям, включенным в Индустрию 4.0, наибольшую значимость приобретают следующие.

Во-первых, проблемы IT-безопасности – защита конфиденциальных данных, безопасность облачного хранения, шпионаж, мошенничество, хакерские атаки, вирусы и терроризм. Во-вторых, проблемы передачи данных – скорость, широкополосность, качество. В-третьих, IT-навыки и квалификация сотрудников – обучение конкретным навыкам новой технологии на рабочем месте становится критически важным, кроме того растет скорость «устаревания» ключевых навыков.

Известно, что сегодня правительства и организации несут прямую ответственность за соблюдение стандартов устойчивого использования ресурсов и защиты окружающей среды. Так, процедура «Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)» (от англ. – Environmental Impact ) предназначена для определения характера, интенсивности и степени влияния «планируемой хозяйственной деятельности на состояние окружающей среды и здоровье населения». Ее проведение регламентировано в статье 32 Федерального закона РФ «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ [8].

Окончательный вариант ОВОС представляется на государственную или общественную экологическую экспертизу. Социальные и экономические аспекты деятельности организаций также регламентированы. Между тем, как было показано выше, сегодня цифровая среда является объективной реальностью, и от того насколько организации «включены» в эту среду, как реагируют на ее угрозы и насколько используют предоставляемые ей возможности, зависит эффективное функционирования и развитие организаций в цифровой экономике.

Кроме того, организации, «вписанные» в инфраструктуру умных производств, городов и отраслей Индустрии 4.0, оказывают обратное воздействие на цифровую среду, выступая источником потенциальных угроз и опасностей. Таким образом, цифровая среда становится полноправным элементом наряду с социальной, экономической и экологической средой. Триединая концепция устойчивого развития в соответствии с развитием цифровой экономики и Индустрии 4.0. должна быть дополнена четвертой *– цифровой компонентой* (рис. 9).

Исследование цифровой устойчивости является обязательным условием достижения устойчивого развития в условиях Индустрии 4.0, требующее глубокой теоретической и методической проработки, а также создания специальных механизмов и практик *обеспечения цифровой устойчивости организаций, отраслей и регионов*.

**Обсуждение и выводы**

Устойчивость и цифровая трансформация – это две основные тенденции последнего десятилетия. Главным ресурсом Индустрии 4.0 являются данные, главным элементом становится искусственный интеллект, основанный на интернете вещей и сервисов, а главной проблемой является проблема делегирования киберфизическим системам принятия решений так «как это делают люди».

Возникновение Индустрии 4.0 трансформирует концепцию, факторы и практики устойчивого развития. Изначально предназначенная для решения проблем постиндустриальных производств, инициировавших развитие экологических и социальных кризисов, Индустрия 4.0 привела к появлению подрывных инноваций и устойчивых бизнес-моделей. В тоже время она привела к появлению новых проблем в каждой из сфер устойчивого развития – социальной, экологической и экономической. Среди них проблема электронных отходов и безработица как следствия роботизации, проблема предвзятости при использовании алгоритмов машинного обучения при рассмотрении социальных вопросов, проблема социальной изоляции и разобщенности людей вследствие использования сетевых информационных технологий и многие другие.

Однако главной стала проблема, связанная с безопасностью сферы информационных технологий – защита конфиденциальных данных, шпионаж, мошенничество, хакерские атаки, вирусы   
и т. д.

Индустрия 4.0, предоставляя инструменты для достижения социальных, экологических и экономических целей концепции устойчивого развития, привела к появлению новых проблем и вызвала необходимость рассмотрения дополнительной компоненты – цифровой. Исследование цифровой устойчивости является обязательным условием достижения устойчивого развития в условиях Индустрии 4.0, требующей глубокой теоретической и методической проработки, а также создания специальных механизмов и практик *обеспечения цифровой устойчивости* *организаций, отраслей и регионов*.

**Литература/References**

1. Beltrami M., Orzes G., Sarkis J., & Sartor M. Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 312. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127733
2. Holzer D., Rauter R., Fleiß E, Stern T. Mind the gap: Towards a systematic circular economy encouragement of small and medium-sized companies. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 298. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126696.
3. Jamwal A., Agrawal R., Sharma M., Kumar S. Developing a sustainability framework for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 2021, vol. 98. DOI: 10.1016/j.procir. 2021.01.129.

**Рис. 9. Компоненты устойчивого развития в Индустрии 4.0**

1. Khan I.S., Ahmad M.O., Majava J. Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 297. DOI: 10.1016/ j.jclepro.2021.126655
2. Schuh G., Wesch-Potente T., Weber A.R., Prote J.-P. Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 2014, vol. 19. DOI: 10.1016/j.procir. 2014.05.016.
3. Spaltini М., Poletti А., Acerbi F., Taisch M. A quantitative framework for Industry 4.0 enabled Circular Economy. *Procedia CIRP*, 2021, vol. 98. DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.015.
4. Stock T., Seliger G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 2016, 40. DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.129
5. Available at: http://www.consultant.ru/ document/ cons\_doc\_LAW\_34823
6. Available at: http://www.un.org/russian/ conferen/wssd/agenda21
7. Available at: https://janberg.by/principy-industry-4-0.
8. Available at: https://unctad.org
9. Available at: https://www.forbes.ru/brand­voice/sap/345779-chetyre-nol-v-nashu-polzu
10. Available at: https://www.henkel.ru/spotlight/ industry-4-0
11. Available at: https://www.scopus.com
12. Available at: https://www.tadviser.ru, <https://tass.ru/ekonomika/4094554>,
13. Available at: https://www.un.org/ru/ga/pdf/ brundtland.pdf
14. Available at: https://www.un.org/sustainable development/sustainable-development-goals

**Лясковская Елена Александровна,** доктор экономических наук, профессор кафедры «Цифровая экономика и информационные технологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), [еlen\_lea@mail.ru](mailto:еlen_lea@mail.ru)

***Поступила в редакцию 1 ноября 2021 г.***

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**DOI: 10.14529/em210408**

**INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT:   
FROM SUSTAINABLE BUSINESS MODELS   
TO DIGITAL SUSTAINABILITY**

***E.A. Lyaskovskaya***

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Industry 4.0, based on manufacturing systems using information technologies, includes a combination of smart factories, products, and the Internet of Things. It is aimed at providing real-time information on production, processes, equipment, products, flows, and integrating this information to make effective decisions in terms of economic, environmental and social results. Originally created to solve the problems of *unsustainable production*, Industry 4.0 today is changing all spheres of modern society, being simultaneously a threat and an opportunity for sustainable development.

In this work, a bibliographic analysis of the Scopus database publications devoted to Industry 4.0 has been conducted, technical and economic prerequisites for its emergence, its concepts and essential content have been clarified. The characteristics of Industry 4.0 and the technologies that shape it, their impact on society and the economy have been systematized. The main principles and trends of Industry 4.0 have been highlighted, the features, components and principles of sustainable production and sustainable business models in Industry 4.0 at the micro-, meso- and macroeconomic levels have been systematized and refined. The transformation of the concept of sustainable development and the role of Industry 4.0 in achieving sustainable development goals, including the prerequisites for its emergence, new opportunities and threats associated with the implementation of digital business models have been investigated. The influence of business models and practices of Industry 4.0 on achieving the goals of social, economic and environmental components of sustainable development has been analyzed.

The IT problems of enterprises included in Industry 4.0 have been systematized, the need to include the fourth (digital) component of sustainable development and research on digital sustainability for ensuring sustainable development of economic entities in terms of digital economy has been substantiated.

**Keywords**: Industry 4.0, digital economy, sustainable development, digital sustainability, sustainable business models, circular economy.

**Elena A. Lyaskovskaya,** Doctor of Sciences (Economics), Professor of the Department of Digital Economy and Information Technology, South Ural State University, Chelyabinsk, [еlen\_lea@mail.ru](mailto:еlen_lea@mail.ru)

***Received November 1, 2021***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Образец цитирования** |  | **FOR CITATION** |
| Лясковская, Е.А. Индустрия 4.0 и устойчивое развитие: от устойчивых бизнес-моделей к цифровой устойчивости / Е.А. Лясковская // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 73–83. DOI: 10.14529/em210408 |  | Lyaskovskaya E.A. Industry 4.0 And Sustainable Development: From Sustainable Business Models To Digital Sustainability. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2021, vol. 15, no. 4,  pp. 73–83. (in Russ.). DOI: 10.14529/em210408 |