

А. В. Трачук

Д.э.н., профессор, руководитель департамента
 Департамент менеджмента
 ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
 Генеральный директор
 АО «Гознак»
 Москва, Российская Федерация
 E-mail: atrachuk@fa.ru

Н. В. Линдер

К.э.н., профессор,
 заместитель руководителя департамента
 Департамент менеджмента
 ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»
 Москва, Российская Федерация
 E-mail: nvlinder@fa.ru

Технологии четвертой промышленной революции: исследование технологического принятия промышленными компаниями с помощью метода нелинейных главных компонент (NLPCA)

Аннотация. Исследуется готовность промышленных компаний к восприятию технологий индустрии 4.0 и проводится анализ результатов анкетирования промышленных компаний. В качестве инструмента обработки данных используется нелинейный метод главных компонент (NLPCA) в понимании системы Гифи, который учитывает неоднородную статистическую природу опросных показателей.

Ключевые слова: индустрия 4.0, технологическое принятие, анкетирование, метод главных компонент, нелинейный метод главных компонент, NLPCA, система Гифи.

A. V. Trachuk

Doctor of Economics, Professor, Head of Department
 Department of Management
 Financial University under the Government of the Russian Federation
 General Director
 Goznak JSC
 Moscow, Russian Federation
 E-mail: atrachuk@fa.ru

N. V. Linder

PhD in Economics, Professor
 Department of Management
 Financial University under the Government of the Russian Federation
 Moscow, Russian Federation
 E-mail: nvlinder@fa.ru

Technologies of the fourth industrial revolution: research of technological adoption by industrial companies using NLPCA

Abstract. The work examines the readiness of industrial companies to perceive industry technologies 4.0 and analyzes the results of questioning of industrial companies. As a data processing tool, the nonlinear principal component method (NLPCA) is used in the understanding of the Gifi system, which takes into account the heterogeneous statistical nature of the survey indicators.

Keywords: industry 4.0, technological acceptance, questioning, main component method, nonlinear principal component method, NLPCA, Gifi system.

Четвертая промышленная революция, известная за рубежом как «Индустрия 4.0», в 2011 году началась с проекта, направленного на повышение конкурентоспособности обрабатывающей промышленности. Специалисты предложили интегрировать «киберфизические системы» (CPS), или автоматизированные машины и обрабатывающие центры, подключенные к интернету, в промышленные процессы. Была поставлена цель создать такие системы, которые позволили бы машинам самостоятельно (автономно) менять производственные шаблоны при необходимости. Цифровой (связанный с интернетом) подход используется на всех этапах жизненного цикла продукта, включая дизайн и создание прототипа, наладку и обслуживание производственной линии, контроль и оптимизацию производства, а также данные, полученные в результате обратной связи от клиентов и потребителей. «Индустрия 4.0» принципиально меняет не только процесс производства, но и сферу услуг, связанных с выпускаемой продукцией. Революционное изменение технологий в промышленности будет сопровождаться перестройкой организации труда, переменами в общественной жизни и новыми требованиями к правовому обеспечению деятельности компаний. Киберфизические системы производства изменят традиционную логику производства, поскольку каждый рабочий объект будет сам определять, какую работу необходимо выполнить. Эта абсолютно новая архитектура промышленных систем может быть постепенно внедрена посредством цифровой модернизации существующих производственных мощностей. Данную концепцию можно реализовать не только на абсолютно новых предприятиях, но и поэтапно развернуть в уже существующих фирмах в процессе их эволюционного развития. В промышленности, построенной на основе концепции «Индустрии 4.0», производственное оборудование и продукты станут активными системными компонентами, которые сами будут управлять производственными и логистическими процессами. В их составе будут работать киберфизические системы, связывающие виртуальное пространство интернета с реальным физическим миром. При этом киберфизические системы будут отличаться от существующих мехатронных систем благодаря своей способности взаимодействовать со своим окружением, планировать и адаптировать свое собственное поведение с учетом окружающих условий, учиться новым моделям и линиям поведения и, соответственно, самостоятельно оптимизировать свою работу. Они обеспечат эффективный выпуск даже минимальных партий за счет быстрого внесения изменений в продукцию и большого количества вариантов готовых изделий. Применение встроенных датчиков, исполнительных механизмов, обеспечение межмашинного обмена данными и использование активной семантической памяти приведут к появлению новых методов оптимизации, направленных на сохранение ресурсов в производственной среде. Это, в свою очередь, будет способствовать созданию экологически безопасного и передового производства.

Первым шагом реализации концепции «Индустрия 4.0» должна стать оценка производственно-технологической базы предприятия. Это позволит понять, насколько предприятие готово к принятию новых технологий, и поможет сформулировать стратегию развития (повышения уровня технологической зрелости) и спланировать поэтапную работу с целью внедрить концепцию «Индустрия 4.0».

Теории технологической готовности и восприятия новых технологий

Рассмотренные нами технологии являются ключевым фактором повышения конкурентоспособности промышленных компаний в условиях четвертой

технологической революции. Вместе с тем, для того чтобы эти технологии принесли прибыль, компании должны воспринять их и внедрить в практику хозяйствования [5].

Восприятие отражает степень готовности потребителей использовать предложенную технологию в конкретной ситуации [9].

Исследование того, как новые продукты, способы ведения хозяйства, нормы распространяются в сообществе, показало, что большинство графиков принятия инноваций членами общества напоминает стандартную колоколообразную кривую (нормальное распределение) [13].

В типичном случае успешного внедрения новой технологии скорость принятия инноваций часто описана S-образной или логистической кривой, отражающей разную склонность потребителей к принятию новых технологий. При появлении инновационного продукта на рынке обычно его принимает сравнительно небольшое количество пользователей. Если же инновационный продукт успешен и достигает стадии принятия, скорость принятия увеличивается. По мере распространения инновации она замедляется, поскольку спрос на инновацию достигает предела насыщения. При насыщении рынка удельный вес новых пользователей варьируется в зависимости от того, насколько развито применение инноваций.

Результаты анкетирования промышленных компаний

В ходе исследования опрошены 76 компаний, в том числе 43,2% компаний работают на рынке В2В, 37,8% — на рынке В2С, 18,9% — на обоих рынках. 31,1% компаний предлагают своим клиентам товар, 54,1% — услуги, 14,9% — товары и услуги. По структуре капитала компании распределены следующим образом: у 58,1% — только российский капитал, у 31,1% — только иностранный, у 10,8% — смешанный. Распределение в зависимости от рынка присутствия таково: 47,3% компаний работают на международном рынке, 41,9% — на национальном, 10,8% — на локальном. Характеристики компаний, вошедших в выборку, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристики компаний выборки

Характеристика	Количество	Доля в общем объеме, %
<i>Направления деятельности компаний</i>		
IT и телекоммуникации	15	16,7
FMCG	6	6,7
Оптовая и розничная торговля	12	13,3
Консалтинг и бизнес-услуги	12	13,3
Электронный бизнес	5	5,6
Некоммерческие организации	4	4,4
Финансовые услуги	7	7,8
Медицинские услуги	6	6,7
Образование	4	4,4
Другое	19	21,1
<i>Возраст компаний, лет</i>		
До 3	7	9,5

Таблица 1
Характеристики компаний выборки (продолжение)

От 3 до 5	6	8,1
6 –10	11	14,9
11 –20	14	18,9
Свыше 21	36	48,6
<i>Среднегодовой оборот компаний, млн руб.</i>		
До 50	14	18,9
50 –150	7	9,5
150 –500	10	13,5
500 –1000	7	9,5
Свыше 1000	36	48,6
Численность персонала, чел.		
До 50	15	20,3
50–150	9	12,2
150–500	11	14,9
500–1000	8	10,8
Свыше 1000	31	41,9

Анкета включала около 18 вопросов, сгруппированных на внешние и внутриорганизационные.

В качестве предварительного анализа рассмотрим некоторые результаты анкетирования и проанализируем наиболее выраженные зависимости между факторами, характеризующими уровень готовности технологического принятия.

Прежде всего, необходимо отметить существенную положительную зависимость между размером компаний и мнением респондентов относительно использования технологий «Индустрии 4.0» для повышения конкурентоспособности отечественной промышленности (коэффициент корреляции Спирмена — 0,46).

Большинство компаний обрабатывающей промышленности (47%) ответили, что внедрение технологий «Индустрии 4.0» способно повысить производительность отечественных компаний достаточно сильно (38%) и очень сильно (9%); 34% не смогли ответить однозначно, 12% считают, что влияние будет незначительным, а 7% компаний ответили отрицательно (рис. 1). По пятибалльной шкале Лайкерта 5 — достаточно сильно, 1 — не способны.

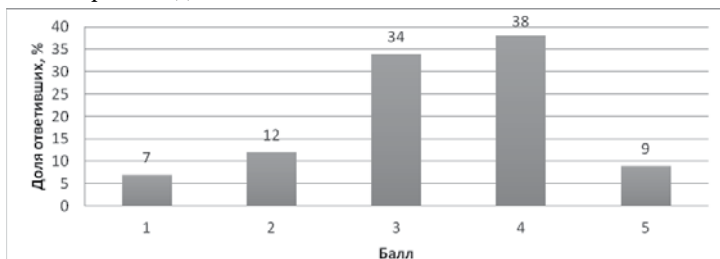


Рис. 1. Считаете ли вы, что технологии «Индустрии 4.0» способны повысить производительность российских компаний?

На вопрос о влиянии внешней среды, в частности технологических изменений в отрасли, способствующих принятию компаниями технологий «Индустрии 4.0», были получены ответы с большим разбросом: около 21% компаний не чувствуют изменений (1 балл), 23% компаний чувствуют незначительное влияние происходящих изменений, 16% — сильное влияние, 8% — очень сильное (5 баллов), 32% дали нейтральный ответ (3 по шкале Лайкерта) (рис. 2). Это расхождение ответов частично зависит от размера компании и сектора, в котором они работают. Очень крупные компании-производители и многонациональные компании считают влияние достаточно сильным. Малые и средние компании не чувствуют происходящих изменений и считают, что первыми примут и будут использовать данные технологии крупные международные компании или компании из высокотехнологичных секторов, поскольку у крупных компаний есть значительные возможности финансирования, эффект масштаба позволяет сделать эти технологии выгодными.

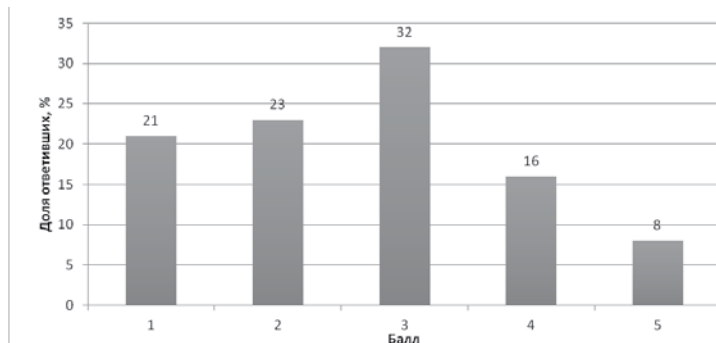


Рис. 2. Чувствуете ли вы давление внешней среды для принятия технологий индустрии 4.0?

Далее мы проанализировали ответы респондентов о важности технологий «Индустрии 4.0» как потенциала для роста и повышения конкурентоспособности компаний различных отраслей промышленности. Наиболее важным источником роста их признали компании нефтехимической отрасли, машиностроения и производства электрооборудования, не сочли важными в настоящее время компании строительной отрасли, черной и цветной металлургии, пищевой, текстильной промышленности. Однако большинство компаний считают, что в будущем эти технологии станут основным источником повышения производительности и конкурентоспособности.

Большинство опрошенных компаний считают, что в будущем технологии «Индустрии 4.0» позволят компаниям из развивающихся стран конкурировать наравне с компаниями из более развитых стран. Респонденты не согласны с утверждением, что внедрение технологий «Индустрии 4.0» затормозит процесс переноса производств в страны с дешевой рабочей силой. Абсолютное большинство компаний согласилось, что технологии «Индустрии 4.0» сопряжены с повышенными рисками для компаний.

Измерение уровня готовности принятия компаниями технологий «Индустрии 4.0»

Метод нелинейных главных компонент (Nonlinear principal component analysis, NLPKA) представляет собой нелинейную трансформацию непрерывных переменных [Salinelli, 1998] на основе нейронных сетей. Метод NLPKA

в системах Гифи впервые был представлен в работе «Nonlinear Multivariate Analysis» (1968 г.) и представляет собой анализ однородности с ограничениями на значения качественных переменных. Целевая функция метода имеет вид:

$$\sigma(X, Y_1, \dots, Y_j) = J^{-1} \sum_{j=1}^J [SSQ(X - G_j Y_j)] \rightarrow \min$$

где σ — целевая функция; X — матрица размерности $N \times p$, содержащая координаты N объектов в p -мерном пространстве R^p (матрица интегральных характеристик); Y_j — матрица размерности $L_j \times p$ переменной j , содержащая координаты всех L_j ее категорий в p -мерном пространстве, $j \in J$. Матрицы Y_j содержат квантификации всех J исходных показателей, которые принимают L_j различных значений. Их количественные выражения априори неизвестны, так как показатели носят качественный характер. SSQ — сумма квадратов соответствующих элементов матрицы. G_j — матрица смежности (или матрица индикаторов) размерности $N \times L_j$ для исходной переменной j , $j \in J$. Элемент матрицы $G_j(i, l_j) = 1$, если объект i относится к категории l_j , и $G_j(i, l_j) = 0$ в противном случае, $i \in N, l_j \in L_j$.

С целью исключить тривиальное и не имеющее аналитической ценности решение $X = 0, Y_j = 0, j \in J$ на матрицу конечных индикаторов X накладываются условия центрированности и ортонормированности, т.е. интегральные индикаторы имеют нулевое среднее, единичное среднеквадратичное отклонение и независимы друг от друга.

Метод нелинейных главных компонент в системах Гифи позволяет заметно упростить обработку результатов анкетирования в силу следующих причин:

- Применение подхода дает однозначный вид зависимости интегральных показателей от исходных факторов, который имеет четкое математическое обоснование и не зависит от субъективного мнения исследователей;
- Конечные интегральные индексы (главные компоненты) наиболее сжато отражают суть объектов исследования и их основные дифференцирующие свойства. Интерпретация главных компонент позволит выделить наиболее глубинные и устойчивые свойства;
- Обеспечивается снижение влияния субъективного фактора, связанного с разработкой структуры анкеты и с ответами респондентов;
- NLPCA допускает нелинейную трансформацию значений переменных, что позволяет учесть не только количественные, но и качественные исходные показатели. Это важно, так как ординальные и номинальные переменные часто составляют основную массу вопросов в анкете;
- К результатам NLPCA относится квантификация качественных переменных: числовые значения позволяют количественно оценить степень проявления основного сущностного признака таких переменных по всем их категориям.

Достоинства NLPCA и доступности реализации вычислительных процедур обусловили его выбор для обработки результатов анкет в настоящем исследовании. Главные компоненты могут быть интерпретированы как оценки факторов восприятия новых технологий компаниями обрабатывающей про-

мышленности. Анализ, интерпретация и сравнение этих компонент помогут ответить на вопрос, какие именно факторы оказывают наибольшее влияние на принятие компаниями технологий «Индустрии 4.0».

Для дальнейшего анализа было выбрано семь показателей, которые, в свою очередь, измерялись посредством постановки нескольких вопросов. Показатели сгруппированы как внутриорганизационные факторы и факторы внешней среды (табл. 2). К внутриорганизационным факторам относят особенности деятельности принявших инновацию компаний (поставщиков, посредников и др.), инновационные особенности компаний, принявших инновацию, и межфирменные (сетевые) взаимосвязи, личные особенности сотрудников компании, система внутренней помощи в компании, отношение сотрудников к инновациям [12]. Для измерения внутриорганизационных факторов принятия новых технологий нами использована модель измерения внутриорганизационных характеристик (POER) [10; 11].

Внешние факторы включают конкурентное давление рынка и технологические изменения в отрасли. Для внешних факторов мы использовали модель измерения факторов внешней среды (PEER) [11]. В табл. 2 представлен перечень показателей.

Таблица 2
Индикаторы измерения факторов восприятия технологий «Индустрии 4.0» компаниями обрабатывающей промышленности

Обозначение	Измерение	Тип	Возможные ответы
Внутриорганизационные характеристики <i>Техническая выполнимость (интеграция, масштабируемость, удаленный доступ, инфраструктура, сложность, и т.д.)</i>			
T1	Применяемые нами технологии не совместимы с новыми	Порядковая переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен)
T2	Для применения новых технологий необходимо серьезное изменение процессов компании	Порядковая переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен)
<i>Воспринятые риски (безопасность, инвестиции)</i>			
RK1	Мы считаем, что новые технологии несут высокие риски для информационной безопасности	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен)
RK2	Новые технологии несут высокие инвестиционные риски	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен)
RK3	Основные трудности при реализации трансформации — это неразвитость цифровой культуры и дефицит соответствующих специалистов в компаниях	Порядковая переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен)
<i>Воспринятые преимущества</i>			
UR1	Новые технологии позволяют быть более гибкими	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
UR2	Новые технологии позволяют нам оптимизировать затраты	Числовая переменная	% ожидаемого сокращения затрат

Таблица 2
Индикаторы измерения факторов восприятия технологий «Индустрия 4.0»
компаниями обрабатывающей промышленности (продолжение)

UR3	Новые технологии позволят нам резко повысить производительность	Числовая переменная	% ожидаемого повышения производительности
<i>Стоимость (Операционный сбор)</i>			
COST1	Новые технологии в настоящее время дороги, и их применение не принесет выгоды компании	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
COST2	Главным образом инвестиции будут направлены на цифровые технологии(датчики и устройства связи), на программы и приложения (системы управления производством (MES))	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
<i>Человеческие ресурсы</i>			
C1	Отраслевым предприятиям также нужно привлекать, удерживать и обучать специалистов из числа представителей «цифрового поколения» и других сотрудников, которые могут спокойно работать в динамичной цифровой экосистеме	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
C2	Промышленным предприятиям необходимо разработать эффективные организационные структуры, обеспечивающие применение аналитики данных	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
Факторы внешней среды <i>Давление рынка</i>			
MARK1	«Индустрия 4.0» приведет к формированию новой конкурентной среды и коренным изменениям в традиционных отраслях	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
MARK2	Импульс развитию платформы «Индустрия 4.0» задают данные. Качественная аналитика данных — обязательное условие успешного внедрения цифровых платформ на предприятии.	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
<i>Технологические изменения в отрасли</i>			
TR1	По мере развития цифровых экосистем усложняются требования к цифровым решениям: необходимо подтверждение достоверности и происхождения собственных и внешних данных, обеспечение доверия, подкрепленного прозрачностью и непроверяемостью информации	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).

Таблица 2
Индикаторы измерения факторов восприятия технологий «Индустрии 4.0»
компаниями обрабатывающей промышленности (продолжение)

TR2	Технологии имеют большое значение, однако в конечном итоге успешность трансформации будет зависеть не от специальных датчиков, алгоритмов или инструментов аналитики, а от более широкого набора факторов, связанных с людьми	Номинальная переменная	От «1» (категорически не согласен) до «5» (полностью согласен).
-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	-----------------------------------------------------------------

Дальнейшая обработка информации была осуществлена в соответствии с процедурой Princals (категориальный анализ главных компонент (CatPCA) обобщает метод анализа главных компонент на случай переменных различных уровней измерения). Расчет нелинейных главных компонент проводился отдельно по двум группам показателей и учитывал тип каждой переменной. Опции расчета включали заполнение пропущенной информации по моде для каждой переменной. Результаты применения NLPСА представлены в табл. 3. Таким образом, проведенный анализ подтвердил наличие пяти внутриорганизационных факторов и двух факторов внешней среды.

Таблица 3
Результаты расчета нелинейных главных компонент

Компонента	Дисперсия, %		Обозначение	Интерпретация
	Объяснимая	Кумулятивная		
<i>Внутриорганизационные характеристики</i>				
Техническая выполнимость	19,2	20,5	ГК1	Влияние технической выполнимости на принятие решения об использовании новых технологий
Воспринятые риски (безопасность, инвестиции)	8,6	12,4	ГК2	Влияние воспринятых рисков на принятие новых технологий
Воспринятые преимущества	9,03	11,05	ГК3	Влияние воспринятых преимуществ на принятие новых технологий
Стоимость (Операционный сбор)	12,6	24,9	ГК4	Влияние стоимости на принятие новых технологий
Человеческие ресурсы	11,5	27,4	ГК5	Влияние человеческих ресурсов
<i>Факторы внешней среды</i>				
Давление рынка	12,7	27,9	ГК6	Влияние давления рынка на принятие новых технологий
Технологические изменения в отрасли	7,09	15,62	ГК7	Влияние технологического изменения в отрасли

В статье рассмотрена возможность количественного измерения факторов восприятия технологий «Индустрии 4.0» с позиции оценки компаний обрабатывающей промышленности с помощью инструментария многомерного статистического анализа. Базой для анализа послужили результаты анкетирования компаний обрабатывающей промышленности, проведенного в 2017 году. В качестве инструмента анализа использовался метод нелинейных NLPCA в системах Гифи. Метод позволяет параллельно осуществлять расчет интегральных индикаторов на основе разнородных данных и квантификацию категориальных факторов в соответствии с их природой. Метод удобен для различного рода микроэкономических исследований, оценивающих субъективное мнение людей, которое сложно описать количественно.

Реализация NLPCA позволила построить 7 главных компонент, вбирающих в себя около 50% исходной информации о российских компаниях обрабатывающей промышленности по двум классам факторов: факторы внутриорганизационной среды компании и факторы внешней среды.

Анализ главных компонент позволил сделать ряд интересных выводов о факторах восприятия технологий «Индустрии 4.0». В настоящее время не все компании считают выгодными инвестиции в новые технологии, поэтому большинство склонны принимать только те технологии, которые приносят максимальную пользу бизнесу и соответствуют общей корпоративной стратегии. Многие компании предпочитают начинать с небольших проектов, подтверждающих эффективность концепции. Многие компании не имеют доказательств успешной реализации проектов внедрения технологий «Индустрии 4.0» и предпочитают применять прагматичный подход к решению вопросов финансирования подобных проектов, основанный на показателях успешности инвестиционных проектов, чтобы компенсировать отсутствие стандартов и инфраструктуры.

Литература

1. Arbeitskreis Industrie 4.0: Umsetzungs empfehlungen für das Zukunfts projekt Industrie 4.0 / Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. [S.l.] 2013.
2. **Cotteleer M., Holdowsky J., Mahto M.** The 3D opportunity primer. The basics of additive manufacturing. [S.a.] Deloitte University press. 2013. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/the-3d-opportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing/DUP_718-Additive-Manufacturing-Overview_MASTER1.pdf.
3. **Cotteleer M., Joyce J.** 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth. Deloitte Review. 2014. Iss. 14.
4. **Diamandis P., Hagel J., van Geest Yu.** et al. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Based on the introduction of the Deloitte Center for the Edge Europe. Report. [S.l.] 2014.
5. **Hall B. H., Khan B.** Adoption of New Technology // New Economy Handbook / Ed. D.C. Jones. San Diego, CA: Academic Press, 2003.
6. Innovation reinvented. Challenges and solutions for Switzerland's manufacturing industry / Deloitte. Geneva, 2013.
7. **Keeley L.** Ten Types of Innovation. The Discipline of Building Breakthroughs. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
8. **Mahidhar V., Schatsky D.** The Internet of Things // [S.l.] Deloitte University Press. 2013. 4 Sept. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/no/Documents/technology-media-telecommunications/internet-of-things.pdf>.
9. **Mahler A., Rogers E.M.** The diffusion of interactive communication innovations and the critical mass: the adoption of telecommunications services by German banks // Telecommun. Policy. 1999. Vol. 23, N 10–11. P. 719–740.
10. **Molla A., Licker P. S.** Perceived e-Readiness Factors in e-Commerce Adoption:

An Empirical Investigation in a Developing Country // International Journal of Electronic Commerce. 2005. Vol. 10, №1. P. 83–110.

11. **Molla A., Licker P. S.** PERM: A Model of e-Commerce Adoption in Developing Countries // Issues and Trends of Information Technology Management in Contemporary Organizations / Ed. M. Khosrowpour. Seattle: Idea Group Publishing, 2002. P. 527–530.

12. **Openshaw E., Wigginton C., Hagel J.** et al. The Internet of Things Ecosystem: Unlocking the Business Value of Connected Devices / Deloitte. [S.l.:] Deloitte University Press, 2014.

13. **Rogers E.** Diffusion of Innovations. New York: Free Press, 2003.

14. **Salinelli E.** Nonlinear principal components I. Absolutely continuous random variables with positive bounded densities. The Annals of Statistics. 1998. Vol. 26, № 2. P. 596–616.

15. **Schlick J., Stephan P., Zühlke D.** Produktion 2020. Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution // Fachzeitschrift für Information Management und Consulting, 2012. August.

16. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. 2013. URL: https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf.

17. White Paper on Swiss Manufacturing Industry. Challenges and prospects in global competition / Deloitte. 2012.