

Экономико-математические методы и модели Economic & mathematical methods and models

Научная статья

УДК 65.012

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15107>

РАСЧЁТ ПРЕДЕЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

О.В. Милёхина¹  , И.В. Асланова¹ , И.А. Милёхин² 

¹ Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Российская Федерация;

² Хемницкий технический университет, Хемниц, Германия

 olga.milekhina@gmail.com

Аннотация. По умолчанию предполагается, что цифровая трансформация экономики ведет к повышению качества управления всеми социально-экономическими системами. Однако, как и любой другой экономический процесс, цифровая трансформация требует затрат ресурсов. Соответственно возникает закономерный вопрос об эффективности использования этих ресурсов. При этом необходимо учитывать, что в основе каждого процесса цифровой трансформации управления лежит информация, то есть количественные и текстологические, первичные, промежуточные и результатные данные о различных аспектах деятельности организации, ее внешней и внутренней среде. Определить экономическую эффективность использования данных крайне затруднительно, так как одна и та же информация используется неоднократно, в разных управленческих циклах. Кроме того, срок жизни (актуальности) массивов данных может быть очень разным. Поэтому требуется разработка альтернативного подхода к оценке эффективности дата-центричного управления, позволяющего, в том числе, локализовать предельные коэффициенты использования информационных ресурсов. Целью данного исследования является определение диапазона предельных значений коэффициентов использования ресурсов на основе уравнения энтропийно-информационного баланса. Достижение поставленной цели обеспечивается реализацией следующих этапов: 1) математического определения уравнения энтропийно-информационного баланса; 2) определения отношения полной стоимости используемого ресурса к полным затратам на обработку информации в информационной системе; 3) определения диапазона предельных значений коэффициентов использования ресурсов с учетом применения цифровых технологий. Таким образом, работа посвящена вопросам расчета предельных коэффициентов и является первым этапом построения оптимизационной модели «объем данных – затраты на информацию». В основу разработки системных метрик положено уравнение энтропийно-информационного баланса, что позволило установить зависимость между вероятностью состояния производства, количеством информации, необходимого для ее целенаправленного изменения и показателя эффективности. В работе доказан системный характер этой зависимости, поэтому численные значения коэффициентов предельного использования могут быть применены в качестве нормативов при технико-экономическом обосновании проектов цифровизации.

Ключевые слова: цифровая трансформация, предприятия реального времени, уравнение энтропийно-информационного баланса, предельный коэффициент использования ресурсов, золотое сечение

Для цитирования: Милёхина О.В., Асланова И.В., Милёхин И.А. Расчёт предельных коэффициентов использования информационных ресурсов в условиях цифровизации // П-Economy. 2022. Т. 15, № 1. С. 94–105. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15107>

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15107>

CALCULATION OF LIMITING COEFFICIENTS FOR THE USE OF INFORMATION RESOURCES UNDER CONDITIONS OF DIGITALIZATION

O.V. Milekhina¹ , **I.V. Aslanova¹** , **I.A. Milekhin²** ¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation;² Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany olga.milekhina@gmail.com

Abstract. By default, the digital transformation of the economy is assumed to lead to an increase in the quality of management of all socio-economic systems. However, as any other economic process, digital transformation requires resources. Accordingly, a natural question arises about the efficiency of the use of these resources. At the same time, it should be taken into account that each process of digital transformation of management is based on information, i.e. quantitative and textual, primary, intermediate and result data on various aspects of the organization's activities, its external and internal environment. It is extremely difficult to determine the economic efficiency of using data, since the same information is used many times in different management cycles. In addition, the lifetime (relevance) of data arrays can be very different. Therefore, it is necessary to develop an alternative approach to evaluating the effectiveness of data driven decision making, which, among other things, allows localizing the limiting coefficients for the use of information resources. The purpose of this study is to determine the range of limiting values of resource utilization factors based on the entropy-information balance equation. Achieving this goal is ensured by the implementation of the following stages: 1) mathematical definition of the entropy-information balance equation; 2) determining the ratio of the total cost of the resource used to the total cost of processing information in the information system; 3) determining the range of limit values for resource utilization factors, taking into account the use of digital technologies. The work is devoted to the issues of calculating limiting coefficients and represents the first stage in building an optimization model "data volume – information costs". The development of system metrics is based on the entropy-information balance equation, which made it possible to establish the relationship between the probability of the state of production, the amount of information necessary for its purposeful change, and the performance indicator. The paper proves the systemic nature of this dependence, therefore, the numerical values of the limiting utilization coefficients can be used as standards in the feasibility study of digitalization projects.

Keywords: digital transformation, real time enterprises, entropy-information balance equation, marginal resource utilization factor, golden ratio

Citation: O.V. Milekhina, I.V. Aslanova, I.A. Milekhin, Calculation of limiting coefficients for the use of information resources under conditions of digitalization, *П-Economy*, 15 (1) (2022) 94–105. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15107>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Традиционная аналитика в процессе принятия управленческих решений опиралась на каскадный процесс сбора, обработки, хранения данных. Предполагалось итерационное выполнение действий по формированию гипотезы и ее тестированию относительно имеющихся данных. Их недостаток компенсировался практическим опытом лица принимающего решения, заимствованием лучших практик, результатами консультирования с экспертами. Далее осуществлялся постепенный анализ небольших пакетов данных, редуцированных в процессе сортировки перед обработкой. Однако без управляемого процесса цифровой трансформации существенного улучшения качества принимаемых управленческих решений не происходило: фрагментарное ис-

пользование информационных систем в организациях редко сопровождалось заметным ростом номенклатуры обрабатываемых и хранимых данных [1–3]. Получение отдачи от цифровизации потребовало от руководителей организаций кардинальных изменений в практике управления, в том числе:

- повышения субъектности в деловых процессах организаций [4, 5] и их системной параметризации на всех уровнях управления [5–8];
- пересмотра взглядов руководителей на приоритеты развития информационно-коммуникационных технологий [9];
- формирования стратегического видения роли знаний в конкурентоспособности организации [10] и областях получаемых выгод от применения информационно-коммуникационных технологий [11, 12];
- оценки влияния цифровизации на развитие человеческого капитала [7, 13];
- оптимизации организационного дизайна и проектирования современных архитектур бизнес-систем [14, 15];

Действительно, завершение перехода от разрозненных информационных систем к цифровым экосистемам бизнеса [16, 17] привело к созданию принципиально новых технологий управления на базе SaaS-сервисов (англ. *System as a Service, SaaS*) [18], IaaS-сервисов (*Infrastructure as a Service, IaaS*) [19] и PaaS-сервисов (англ. *Platform as a Service, PaaS*) [20]. Оно кардинально трансформировало аналитическую деятельность в процессе принятия управленческих решений, обеспечило возможность управления, основанного на данных. Цифровизация позволила аналитикам обрабатывать сразу весь массив данных в исходном виде, искать корреляции по всем данным до получения искомой информации, осуществлять анализ и формировать управленческое решение в реальном масштабе времени.

Под RTE (англ. *Real Time Enterprise, RTE*) будем понимать «...предприятие, которое конкурирует, используя актуальную информацию, чтобы постепенно полностью устранить задержки в работе системы управления и выполнения критически важных бизнес-процессов компании» [21–23].

Заметим, что идея организации процесса управления в реальном масштабе времени давно применяется для решения задач оперативного контура управления. Для этого контура дискретность выработки управленческих решений определяется скоростью протекания соответствующих технологических процессов.

Цифровая трансформация, которая позволяет получить безбарьерный доступ к любой информации, должна обеспечить возможность управления деловыми процессами предприятий в тактическом и стратегическом контуре, например, получение новых данных о производственном процессе (внутренняя информация) и данных о состоянии рынка (внешняя информация) позволяет вносить изменения в производственную программу «на ходу».

Практики выделяют три модели построения архитектуры RTE:

- 1) идеальная модель – конечное множество эталонных управленческих технологий, обеспечивающих оптимизацию деловых процессов;
- 2) отраслевая модель – набор управленческих технологий, характерных для предприятий отрасли;
- 3) историческая модель – исторически сложившийся набор практик управления конкретного предприятия. На практике проектирование архитектуры RTE ориентировано на группирование деловых процессов предприятия в выделенные области деятельности (домен).

Исследователи выделяют две трактовки RTE – информационную и управленческую [21–24]. При этом управленческая трактовка RTE гораздо шире узкоспециализированной информационной: регистрация событий рассматривается как первый шаг, далее следуют анализ и выработка реакции, реализация управленческих решений в качестве ответных действий на изменение условий ведения бизнеса.



Таким образом, RTE – это предприятие, которое на системной основе поддерживает датацентричную технологию принятия управленческих решений:

1. На уровне корпоративной культуры поддерживает датацентричную технологию принятия оперативных и стратегических управленческих решений (*англ. Data driven decision making*);
2. Обнаруживает изменение операционных процессов, внешних и внутренних условий реализации деловых процессов в реальном масштабе времени;
3. Обеспечивает формирование соответствующих управленческих решений в реальном масштабе времени на основе анализа полученной информации, моделирования вариантов управленческих решений и выработки ответственных действий, минимизирующих риски компании;
4. Последовательно реализует намеченные мероприятия и отдельные действия с учетом возможного изменения текущих процессов и управленческих практик компании.
5. В реальном масштабе времени осуществляет мониторинг отклика внутренней и внешней среды ведения бизнеса.

Таким образом, управленческие решения в реальном масштабе времени позволяют организациям использовать преимущества цифровой трансформации в процессе достижения стратегических целей за счет более точных, своевременных и экономичных по издержкам формирования и вариантах реализации управленческих решений. Другими словами выигрыш может быть получен на минимизации издержек координации деловых процессов компании, традиционно измеряемых в человеко-часах.

С практической точки зрения вложение средств в цифровые технологии должно обеспечивать получение материальных и нематериальных выгод от их использования. В этом контексте создание цифровых экосистем бизнеса позволяет системно подойти к решению задачи максимизации использования имеющихся резервов за счет повышения качества управления деловыми процессами организаций. В частности особый интерес представляет вопрос о максимально возможном использовании имеющихся резервов всех видов ресурсов организации, задействованных в производственном процессе.

Как видим в современной практике сложилось множество вариантов оценки эффективности процессов цифровой трансформации. При этом, с одной стороны, существующее инструментальное обеспечение, оказавшее столь значительное влияние на бизнес-архитектуры, модели и технологии реализации деловых процессов в социально-экономических системах, позволяет накапливать значительные объемы данных в любых проекциях. С другой стороны, сбор, хранение, актуализация, защита данных требуют значительных финансовых вложений в систему управления предприятием при высоком риске «информационного загрязнения» процессов коммуникации, разработки и реализации управленческих решений.

Таким образом, проекты по цифровизации должны обеспечивать соответствующий уровень отдачи вложений, выраженный количественно (в ИТ-сфере говорят, что все цели проекта должны быть SMARTованы). Это условие, во-первых, позволит целенаправленно наращивать датацентричность принимаемых решений, нивелировать риск «информационного загрязнения» (цифровизация ради цифровизации, процесс ради имиджевых выгод), удержаться от вложения средств в проекты с низкой отдачей и использовать средства более рационально. Во вторых – существенно повысит результативность взаимодействия заказчиков (управленцев) и ИТ-специалистов на этапах формирования концепции проекта, подготовки технического задания и выбора конкретного варианта достижения целей. Например, в качестве цели может быть объявлено изменение пропорций интеллектуальных и рутинизированных задач управления, либо повышение их результативности. В первом случае SMARTование целей может быть проведено на базе фиксирования затрат времени на решение задач до и после автоматизации. Во втором – может быть выражено через показатели фактического времени принятия управленческого решения до и после реализации проекта по цифровизации.

Соответственно необходима разработка комплекса метрик, обеспечивающих соотнесение вложений в цифровую трансформацию и отдачи накапливаемых данных. Одной из таких метрик может являться уменьшение неупорядоченности систем, выраженное в уравнении энтропийно-информационного баланса, что позволяет оптимизировать использование информационных ресурсов, на основе соответствующих коэффициентов.

Таким образом, целью данного исследования является определение диапазона предельных значений коэффициентов использования ресурсов на основе уравнения энтропийно-информационного баланса. Достижение поставленной цели обеспечивается реализацией следующих этапов:

- 1) математического определения уравнения энтропийно-информационного баланса;
- 2) определения отношения полной стоимости используемого ресурса к полным затратам на обработку информации в информационной системе;
- 3) определения диапазона предельных значений коэффициентов использования ресурсов с учетом применения цифровых технологий.

Методы исследования

Теоретические предпосылки решения этой задачи предложены в работе акад. В.А. Трапезникова [25]. На основе макроподхода к исследованию сложных систем, используя понятия энтропии и количества информации, он установил ряд принципиальных закономерностей информационных систем. Акад. В.А. Трапезников утверждал, что основная задача систем управления производством – снижение свойственной ему частичной неупорядоченности, мерой которой является энтропия. Однако, как было показано, достижение сколь угодно малого значения этой величины экономически нецелесообразно. Дальнейшее развитие этот подход получил, в частности, в работах М.Л. Селезнёва [26] и Г.И. Кайгородцева [1]. Ниже, с применением методологии использованной в них, найдены предельные (оптимальные по критерию затраты/эффект) значения коэффициентов использования ресурсов.

Полученные результаты и их обсуждение

Обозначим R полную стоимость какого-либо ресурса, потребляемого объектом в плановый период времени, а E – стоимость его полезной части.

Тогда отношения

$$\frac{E}{R} = p,$$

и

$$\frac{R - E}{R} = q = 1 - p,$$

(т.е. коэффициенты использования и потерь) можно рассматривать в качестве вероятностей соответствующих «успехов» и «неудач». Так как эти события образуют полную группу, то их энтропия будет иметь вид [27]:

$$H(p, q) = -(p \log p + q \log q) = -[p \log p + (1 - p) \log(1 - p)], \quad (1)$$

где основание логарифмов равно двум.

Максимальное значение данная функция, согласно основному ее свойству, достигает при

$$p = q = 0.5$$



и составляет

$$H(0.5, 0.5) = -(0.5 \log 0.5 + 0.5 \log 0.5) = 1,$$

что означает полную неупорядоченность системы. Для перевода последней из этого состояния до приемлемого значения p , т.е. осуществления акта управления, необходимо количество информации I , равное разности энтропий:

$$I = H(0.5, 0.5) - H(p) = 1 + p \log p + (1 - p) \log(1 - p). \quad (2)$$

Формула (2) определяет количество информации на один двоичный знак её представления. Если в течение планового периода в информационную систему получило n знаков, то при стоимости единицы информации r затраты на процесс управления будут nrI .

Обозначим

$$nr = Q.$$

Величину E представим в виде

$$E = Rp - QI,$$

в которой затраты на управление отнесены к потерям. С учетом (2) выражение для E запишем как

$$E = Rp - Q[1 + p \log p + (1 - p) \log(1 - p)]. \quad (3)$$

Из этой зависимости (назовём её уравнением энтропийно-информационного баланса) следует, что использование информации для управления будет изменять (увеличивать) вероятность p . Однако тогда возрастут и расходы Q , так что при некотором значении p величина E может стать отрицательной.

Найдем её максимум. Решив уравнение

$$\frac{dE}{dp} = 0,$$

получим:

$$p_{\max} = \frac{2^{\frac{R}{Q}}}{1 + 2^{\frac{R}{Q}}} = \frac{1}{1 + 2^{-\frac{R}{Q}}}. \quad (4)$$

и, соответственно,

$$q_{\min} = 1 - p_{\max} = \frac{1}{1 + 2^{\frac{R}{Q}}}. \quad (5)$$

Так как значение

$$\frac{d^2 E}{dp^2} < 0,$$

то при p_{\max} величина E , действительно, достигает максимума.

Введем обозначение

$$\frac{R}{Q} = a,$$

и сделаем подстановку (4) в (2) и (3):

$$I_{\max} = 1 - \frac{\log(1+2^a)}{1+2^a} - \frac{\log(1+2^{-a})}{1+2^{-a}}, \quad (6)$$

$$E_{\max} = \frac{R}{1+2^{-a}} - Q \left[1 - \frac{\log(1+2^a)}{1+2^a} - \frac{\log(1+2^{-a})}{1+2^{-a}} \right]. \quad (7)$$

Разделив обе части (7) на R , для максимального значения коэффициента использования K_{\max} получим:

$$K_{\max} = \frac{E_{\max}}{R} = \frac{1}{1+2^{-a}} - \frac{1}{a} \left[1 - \frac{\log(1+2^a)}{1+2^a} - \frac{\log(1+2^{-a})}{1+2^{-a}} \right]. \quad (8)$$

Эта величина критически зависит от параметра a , т.е. от отношения полной стоимости используемого ресурса к полным затратам на обработку информации в информационной системе. Поэтому для получения численных результатов решаемой задачи необходимо определить множество его допустимых значений. Так как максимум энтропии на один знак

$$H(p) \leq 1,$$

то соответствующее количество информации также будет

$$I \leq 1.$$

Положив величину вероятности в квадратных скобках (7) равной единице, получим выражение

$$E_{\max} = \frac{R}{1+2^{-a}} - Q,$$

соответствующее затратам на обработку максимально доступного количества информации. Необходимым условием его корректности должно быть выполнение неравенства:

$$\frac{R}{1+2^{-a}} - Q > 0,$$

которое с учетом обозначения:

$$a = \frac{R}{Q},$$

может быть записано в виде:

$$\frac{1}{1+2^{-a}} > \frac{1}{a}. \quad (9)$$

Решением (9) является $a \geq 1,4$ (что может быть проверено непосредственно).

Далее, согласно, критерию максимизации K , необходимо выполнение требования, при котором затраты на обработку I_{\max} единиц информации должны быть меньше минимальных потерь Rq_{\min} :

$$I_{\max}Q < Rq_{\min}$$

или

$$\frac{1}{a}I_{\max} < q_{\min}.$$

Данное требование, приняв во внимание (5) и (6), представим в виде:

$$\frac{1}{a} \left[1 - \frac{\log(1+2^a)}{1+2^a} - \frac{\log(1+2^{-a})}{1+2^{-a}} \right] < \frac{1}{1+2^{-a}}. \quad (10)$$

Последнее неравенство выполняется при $a \leq 2,4$ (что также может быть проверено непосредственно). Это означает, что информационный ресурс повышения K исчерпан.

Итак, совместным решением системы неравенств (9) и (10) является интервал

$$1,4 \leq a \leq 2,4.$$

Подстановка его граничных значений в (8) дает диапазон предельных значений коэффициентов использования ресурсов:

$$0,62 \leq K_{\max} \leq 0,68.$$

При этом отношение минимального значения $0,62$ к соответствующей величине коэффициента потерь $0,38$ с относительной погрешностью менее процента удовлетворяет пропорции «золотого сечения» – $1,62$ [28]. Полученные выше результаты позволяют, по крайней мере, качественно проводить оценку эффективности проектов цифровизации управления организаций.

Заключение

В результате разработки системных метрик на основе уравнения энтропийно-информационного баланса:

1. Установлена зависимость между такими показателями, как вероятность состояния производства, количество информации, необходимого для её целенаправленного изменения и величины K (или другого показателя эффективности).

2. «Золотое сечение», обнаруженное в соотношении предельных коэффициентов потерь, свидетельствует о системном характере этой зависимости и её адекватности реальности. Численные значения этих коэффициентов должны рассматриваться как нормативные при технико-экономическом обосновании проектов соответствующих проектов цифровизации.

3. Принятый критерий эффективности использования ресурсов K нарушается при выходе коэффициента a из диапазона $[1,4; 2,4]$. Это означает, что при $a \leq 1,4$ ($K_{\max} < 0,62$) управление недостаточно полно использует накопленную информацию и имеет резервы большей датацентричности в процессе формирования и реализации управленческих решений, а вложенные средства в цифровизацию не обеспечивают возможную отдачу. При $a > 2,4$ происходит превышение максимального значения коэффициента использования $K_{\max} = 0,68$ и дальнейшее улучшение качества управления за счет использования информационного ресурса уже невозможно. Данное утверждение, однако, не исключает улучшение использования ресурса каким-либо иным способом.

Таким образом, внедрение цифровых технологий в сочетании с комплексным использованием потребляемых ресурсов позволяет улучшить эффективность организаций. В качестве дальнейших исследований авторы планируют работу в двух направлениях:

- поиска системных характеристик, обеспечивающих успешное развитие бизнеса в турбулентной среде на основе результативной аналитической деятельности в процессе принятия датацентричных управленческих решений стратегического и оперативного характера;
- исследования ограничений, задаваемых системами управления организаций, и построения математической модели «объем данных – затраты на информацию».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Кайгородцев Г.И.** Методика оценки эффективности информационных систем // Прикладная информатика. 2015. № 1(55). С. 5–14.
2. **Кулыгин О.П.** Экспертные системы анализа предметной области для проектирования информационных систем // Прикладная информатика. 2020. № 2. С. 105–118.
3. **Воронцовский А.В.** Цифровизация экономики ее влияние на экономическое развитие и общественное благосостояние // Вестник СПбГУ. Экономика. 2020. Т. 36. Вып. 2. С.189–216.
4. **Чеботарев В.Г., Громов А.И.** Роль субъектности в бизнес-процессах // Бизнес-информатика. 2013. № 1 (23). С. 3–9.
5. **Пименов В.В., Шафранский П.К.** Экономическая и информационная безопасность в условиях цифровой трансформации: инструменты и механизмы по их нейтрализации // Научно-практический журнал. 2018. №1 (30). С. 25–30.
6. **Васильев Р.Б., Левочкина Г.А.** Вопросы определения критических факторов успеха в ИТ-консалтинге // Бизнес-информатика. 2014. № 2 (28). С. 15–23.
7. **Милёхина О.В.** Системометрический подход к управлению: разработка математической модели кадровой структуры персонала // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 6. С. 89–101.
8. **Асланова И.В.** MES как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18, № 11. С. 1651–1658.
9. **Глухов В.В., Колобов А.В., Игумнов Е.М.** Методика оптимизации набора инструментов для повышения эффективности бизнес-системы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 5. С. 95–105.
10. **Асаул В.В., Кошеев В.А., Цветков Ю.А.** Оценка конкурентоспособности организаций в условиях цифровой экономики // Вопросы инновационной экономики. 2020. Том 10. № 1. С. 533–548.
11. **Середенко Е.С.** Неизмеримые выгоды от аналитических информационных систем: миф или реальность? // Бизнес-информатика. 2013. № 3 (13). С. 10–18.



12. **Нестеренко Н.Ю., Пахомова Н.В., Рихтер К.К.** Устойчивое развитие органического сельского хозяйства: стратегии России и ее регионов в контексте применения технологий цифровой экономики URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-organicheskogo-selskogo-hozyaystva-strategii-rossii-i-ee-regionov-v-kontekste-primeneniya-tehnologiy-tsifrovoy](https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-organicheskogo-selskogo-hozyaystva-strategii-rossii-i-ee-regionov-v-kontekste-primeneniya-tehnologiy-tsifrovoy-ekonomiki) (дата обращения: 10.01.2022)
13. **Гаспарович Е.О., Готман И.В.** Логистика персонала в условиях цифровизации // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2021. Т. 19, № 1. С. 41–49.
14. **Абушова Е.Е., Бурова Е.В., Иванова Душева Г.** Разработка референтной модели высокотехнологического промышленного предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 1. С. 97–108. DOI: 10.18721/ЖЕ.14108
15. **Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М.** Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие // Экономика промышленности. 2021. Т. 14, № 4. С. 375–385.
16. **Трофимов О.В., Захаров В.Я., Фролов В.Г.** Экосистемы как способ организации взаимодействия предприятий производственной сферы и сферы услуг в условиях цифровизации // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского Серия: Социальные науки. 2019. № 4 (56), С. 43–55.
17. **Babkin A., Glukhov V., Shkarupeta E., Kharitonova N., Varabaner H.** Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. International Journal of Technology. Vol. 12, iss. 7 (SE), December 2021, pp. 1397–1406.
18. Программное обеспечение как услуга. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/SaaS_-_D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%83%D1%81%D0%B%D1%83%D0%B3%D0%B0 (дата обращения: 10.01.2022)
19. Инфраструктура как услуга URL: https://www.tadviser.ru/index.php/IaaS_-_D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%83%D1%81%D0%B%D1%83%D0%B3%D0%B0 (дата обращения: 10.01.2022)
20. Бизнес-платформа как сервис URL: https://www.tadviser.ru/index.php/PaaS_-_Platform_As_A_Service_-_D0%91%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81 (дата обращения: 10.01.2022)
21. **Plattner H., Zeier A.** In-memory data management: An inflection point for enterprise applications. Springer, 2011.
22. **Скобелев П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном масштабе времени. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-deyatelnosti-dlya-situatsionnogo-upravleniya-predpriyatiyami-v-realnom-vremeni/viewer> (дата обращения: 10.01.2022)
23. **Гимранов Р.Д.** Real-time enterprise 2.0. Изменения корпоративных информационных систем при реализации технологии in-memory data management // Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе. 2014. № 1. С. 27–32.
24. **Ананьин В.И., Зимин К.В., Гимранов Р.Д., Лугачев М.И., Скрипкин К.Г.** Реальное время управления предприятием в условиях цифровизации. // Бизнес-информатика 2019. Том 13. № 1. С. 7–17.
25. **Трапезников В.А.** Автоматическое управление и экономика // Автоматика и телемеханика. 1966. № 1. С. 7–15.
26. **Селезнёв М.Л.** Информационно-вычислительные системы и их эффективность. М.: Советское радио, 1986. 103 с.
27. **Яглом А.М., Яглом И.М.** Вероятность и информация. М.: Наука, 1973. 512 с.
28. **Карбалам Ф.** Золотое сечение. Математический язык красоты. — М.: Де Агостини, 2014. 160 с.

REFERENCES

1. **G.I. Kaygorodtsev**, Metodika otsenki effektivnosti informatsionnykh sistem // Prikladnaya informatika. 2015. № 1(55). S. 5–14.
2. **O.P. Kulygin**, Ekspertnyye sistemy analiza predmetnoy oblasti dlya proyektirovaniya informatsionnykh sistem // Prikladnaya informatika. 2020. № 2. S. 105–118.
3. **A.V. Vorontsovskiy**, Tsifrovizatsiya ekonomiki yeye vliyaniye na ekonomicheskoye razvitiye i obshchestvennoye blagosostoyaniye // Vestnik SPbGU. Ekonomika. 2020. T. 36. Vyp. 2. S. 189–216.
4. **V.G. Chebotarev, A.I. Gromov**, Rol subyektosti v biznes-protsessakh // Biznes-informatika. 2013. № 1 (23). S. 3–9.
5. **V.V. Pimenov, P.K. Shafranskiy**, Ekonomicheskaya i informatsionnaya bezopasnost v usloviyakh tsifrovoy transformatsii: instrumenty i mekhanizmy po ikh neytralizatsii // Nauchno-prakticheskiy zhurnal. 2018. №1 (30). S. 25–30.
6. **R.B. Vasilyev, G.A. Levochkina**, Voprosy opredeleniya kriticheskikh faktorov uspekha v IT-konsaltinge // Biznes-informatika. 2014. № 2 (28). S. 15–23.
7. **O.V. Milekhina**, Sistemometricheskii podkhod k upravleniyu: razrabotka matematicheskoy modeli kadrovoy struktury personala // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki. 2021. T. 14, № 6. S. 89–101.
8. **I.V. Aslanova**, MES kak osnova razrabotki sistem upravleniya proizvodstvennymi protsessami predpriyatiya // Rossiyskoye predprinimatelstvo. 2017. T. 18, № 11. S. 1651–1658.
9. **V.V. Glukhov, A.V. Kolobov, Ye.M. Igumnov**, Metodika optimizatsii nabora instrumentov dlya povysheniya effektivnosti biznes-sistemy // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki. 2020. T. 13, № 5. S. 95–105.
10. **V.V. Asaul, V.A. Koshcheyev, Yu.A. Tsvetkov**, Otsenka konkurentosposobnosti organizatsiy v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. 2020. Tom 10. № 1. S. 533–548.
11. **Ye.S. Seredenko**, Neizmerimyye vygody ot analiticheskikh informatsionnykh sistem: mif ili realnost? // Biznes-informatika. 2013. № 3 (13). S. 10–18.
12. **N.Yu. Nesterenko, N.V. Pakhomova, K.K. Rikhter**, Ustoychivoye razvitiye organicheskogo selskogo khozyaystva: strategii Rossii i yeye regionov v kontekste primeneniya tekhnologiy tsifrovoy ekonomiki URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-organicheskogo-selskogo-hozyaystva-strategii-rossii-i-ee-regionov-v-kontekste-primeneniya-tehnologiy-tsifrovoy> (data obrashcheniya: 10.01.2022)
13. **Ye.O. Gasparovich, I.V. Gotman**, Logistika personala v usloviyakh tsifrovizatsii // Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Ekonomika». 2021. T. 19, № 1. S. 41–49.
14. **Ye.Ye. Abushova, Ye.V. Burova, G. Ivanova Dusheva**, Razrabotka referentnoy modeli vysokotekhnologichnogo promyshlennogo predpriyatiya // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki. 2021. T. 14, № 1. S. 97–108. DOI: 10.18721/JE.14108
15. **A.V. Babkin, A.A. Fedorov, I.V. Liberman, P.M. Klachek**, Industriya 5.0: ponyatiye, formirovaniye i razvitiye // Ekonomika promyshlennosti. 2021. Tom 14 (№ 4). S. 375–385.
16. **O.V. Trofimov, V.Ya. Zakharov, V.G. Frolov**, Ekosistemy kak sposob organizatsii vzaimodeystviya predpriyatii proizvodstvennoy sfery i sfery uslug v usloviyakh tsifrovizatsii // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo Seriya: Sotsialnyye nauki. 2019. № 4 (56), S. 43–55.
17. **A. Babkin, V. Glukhov, E. Shkarupeta, N. Kharitonova, H. Barabaner**, Methodology for Assessing Industrial Ecosystem Maturity in the Framework of Digital Technology Implementation. International Journal of Technology. Vol. 12, iss. 7 (SE), December 2021, pp. 1397–1406
18. Programmnoye obespecheniye kak ushuga. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/SaaS_-_D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%83%D1%81%D0%B%D1%83%D0%B3%D0%B0 (data obrashcheniya: 10.01.2022)
19. Infrastruktura kak ushuga URL: https://www.tadviser.ru/index.php/IaaS_-_D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%83%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B3%D0%B0 (data obrashcheniya: 10.01.2022)
20. Biznes-platforma kak servis URL: https://www.tadviser.ru/index.php/PaaS_-_Platform_As_A_Service_-_D0%91%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81-%D0%BF%D0%BB%D0%B0



%D1%82%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%BA_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81 (data obrashcheniya: 10.01.2022)

21. **H. Plattner, A. Zeier**, In-memory data management: An inflection point for enterprise applications. Springer, 2011

22. **P.O. Skobelev**, Ontologii deyatel'nosti dlya situatsionnogo upravleniya predpriyatiyami v realnom mashtabe vremeni. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-deyatelnosti-dlya-situatsionnogo-upravleniya-predpriyatiyami-v-realnom-vremeni/viewer> (data obrashcheniya: 10.01.2022)

23. **R.D. Gimranov**, Real-time enterprise 2.0. Izmeneniya korporativnykh informatsionnykh sistem pri realizatsii tekhnologii in-memory data management // Matematika i informatsionnyye tekhnologii v neft-egazovom komplekse. 2014. № 1. S. 27–32.

24. **V.I. Ananin, K.V. Zimin, R.D. Gimranov, M.I. Lugachev, K.G. Skripkin**, Realnoye vremya upravleniya predpriyatiyem v usloviyakh tsifrovizatsii // Biznes-informatika 2019. Tom 13. № 1. S. 7–17.

25. **V.A. Trapeznikov**, Avtomaticheskoye upravleniye i ekonomika // Avtomatika i telemekhanika. 1966. № 1. S. 7–15.

26. **M.L. Seleznev**, Informatsionno-vychislitelnyye sistemy i ikh effektivnost. M.: Sovetskoye radio, 1986. 103 s.

27. **A.M. Yaglom, I.M. Yaglom**, Veroyatnost i informatsiya. M.: Nauka, 1973. 512 s.

28. **F. Karbalan**, Zolotoye secheniye. Matematicheskiy yazyk krasoty. – M.: De Agostini, 2014. 160 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

МИЛЁХИНА Ольга Викторовна

E-mail: olga.milekhina@gmail.com

MILEKHINA Olga V.

E-mail: olga.milekhina@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2962-0946>

АСЛАНОВА Ирина Владимировна

E-mail: ireneas@mail.ru

ASLANOVA Irina V.

E-mail: ireneas@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-4547>

МИЛЁХИН Илья Александрович

E-mail: mia2994@gmail.com

MILEKHIN Ilya A.

E-mail: mia2994@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2018-6095>

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; одобрена после рецензирования 18.02.2022; принята к публикации 19.02.2022.

The article was submitted 01.02.2022; approved after reviewing 18.02.2022; accepted for publication 19.02.2022.