

УДК 330.322.011

**КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**<sup>1,2</sup>Гейда А.С., <sup>1</sup>Лысенко И.В., <sup>1</sup>Свистунова А.С., <sup>1</sup>Федорченко Л.Н., <sup>1</sup>Хасанов Д.С.<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр российской академии наук,  
Санкт-Петербург, e-mail: geida@iias.spb.su;*<sup>2</sup>*Северо-Западный институт управления – филиал Российской академии народного хозяйства  
и государственной службы, Санкт-Петербург*

Рассматривается использование информационных технологий для реализации устойчивого развития экономики и общества. На основе выполненного ранее систематического обзора литературы обоснованы выводы о направлениях исследований по проблеме теоретического исследования использования информационных технологий устойчивого развития. Обоснован комплекс необходимых для этого теоретических средств. Этот комплекс должен позволить решить проблему теоретического исследования использования информационных технологий устойчивого развития на основе применения математических моделей и методов. Показано, что для решения указанной проблемы необходимо разработать модели, описывающие реакции функционирования на изменения среды за счет использования цифровых технологий. В результате эти модели должны позволить оценить меры соответствия прогнозируемых результатов изменяемого функционирования требуемым результатам со стороны изменяющейся среды. Полученные меры соответствия результатов требованиям в изменяющихся условиях должны позволять строить функциональные зависимости мер соответствия результатов изменяющимся требованиям от характеристик функционирования устойчивых систем и от характеристик используемых информационных технологий. Эти меры описывают качество устойчивого функционирования в изменяющихся условиях, и их возможно использовать для того, чтобы решать широкий класс задач устойчивого развития, как математических задач. Предложены концепты и принципы использования цифровых технологий устойчивого развития, позволяющие перейти к построению требуемых моделей.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, цифровизация, цифровая трансформация, информационные технологии, модели, методы

**THE CONCEPT OF DIGITAL TECHNOLOGIES ANALYTICAL  
RESEARCH FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT**<sup>1,2</sup>Geyda A.S., <sup>1</sup>Lysenko I.V., <sup>1</sup>Svistunova A.S., <sup>1</sup>Fedorchenko L.N., <sup>1</sup>Khasanov D.S.<sup>1</sup>*Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,  
Saint Petersburg, e-mail: geida@iias.spb.su;*<sup>2</sup>*The North-West Institute of management – branch of the Russian Presidential Academy  
of National Economy and Public Administration, Saint Petersburg*

We consider using information technologies to implement sustainable development systems in the economy and society. Based on the previously performed systematic literature review, conclusions about future research directions on formal research of information technologies for sustainable development are made. A set of required theoretical tools is justified. This set should the problem solving based on mathematical models and methods applied to describe digital technologies used for sustainable development. The models are described which required to solve a specified problem. Such models should allow describing functioning reactions to environmental changes using digital technologies. As a result, these models should allow us to evaluate the compliance measures of the predicted effects of the changing functioning with the required results from the side of the changing environment. The obtained measures of compliance of the results with the requirements in changing conditions can allow us to build functional dependencies of the measures of compliance of the results with the changing requirements from the characteristics of the functioning of sustainable systems and from the characteristics of the information technologies used to react on changing environment. These measures describe the quality of sustainable functioning in changing conditions, and they can be used to solve a wide class of sustainable development problems as mathematical problems. The concepts and principles of using digital technologies of sustainable development are proposed, allowing us to proceed to construct the required models.

**Keywords:** sustainable development, digitalization, digital transformation, information technologies, models, methods

Систематический обзор литературы по проблемам цифровизации экономики и общества позволил сделать вывод о том, что одними из важнейших перспективных направлений использования современных (цифровых) информационных технологий являются обеспечение устойчивого развития экономики, общества и государ-

ства, стратегическое планирование в экономике и обществе, создание экономики замкнутого цикла. Такая перспективность обуславливается тем, что информационные технологии позволяют обосновать, спрогнозировать, а затем – организовать и осуществить разные виды изменения деятельности в экономических, социальных

и в целом социетальных системах. В результате за счет использования цифровых технологий становится возможным реализовать исследование возможных будущих результатов деятельности там, где ранее это было невозможно, и в результате добиться прогресса в решении задач устойчивого развития. С использованием цифровых технологий возможно реализовать новые прогнозы, лучшие, на большие горизонты планирования, с лучшей точностью. Цифровые технологии позволяют организовать новые способы повторного использования и утилизации ресурсов разных видов. В результате это может позволить решать задачи устойчивого развития социетальных систем, которые было невозможно решать ранее. Однако, с другой стороны, на основе обзора был также сделан вывод о том, что существующие теоретические средства исследования использования цифровых технологий, в особенности – математические модели и методы решения таких задач, развиты в недостаточной мере. В том числе недостаточно развиты математические модели и методы решения задач устойчивого развития систем разных видов, как математических задач.

В связи с этим в рамках разрабатываемой теории использования информации при функционировании систем целесообразно разработать теоретические средства исследования цифровых технологий устойчивого развития. Представляется, что эти средства, как и средства теории использования информации при функционировании систем, должны, прежде всего, основываться на науке о процессах и теории деятельности. Кроме того, перспективно использовать расширения теории графов, альтернативные стохастические сети, алгебру циклограмм и частично-упорядоченных множеств. В статье проанализированы основные результаты указанных теорий в приложении к разрабатываемым формальным средствам информационных технологий устойчивого развития и предложены концепты, принципы и основные схемы использования информации при функционировании систем. Их дальнейшая формализация должна позволить перейти к математическому моделированию использования информационных технологий устойчивого развития систем.

*Концепция использования информационных операций при исследовании устойчиво развивающихся систем*

Концепция включает совокупность взаимосвязанных концептов и принципов исследования функционирования экологиче-

ски устойчивых систем. Они порождены на основе выполненного систематического обзора концептуальных и математических моделей, методов и технологий исследования цифровой трансформации экономических и социальных систем.

Анализ публикаций позволил сделать следующие выводы, позволяющие обосновать направление исследований по вопросам использования информационных операций при исследовании функционирования устойчиво развивающихся систем:

Во-первых, следует устранить несоответствие между необходимостью рассмотрения системы аспектов использования информационных технологий и имеющимися теоретическими средствами, описываемыми, как правило, отдельные аспекты такого использования.

Во-вторых, следует устранить несоответствие между необходимостью использовать прогнозные математические средства исследования результатов деятельности в системах разного вида и отсутствием таких математических средств, позволяющих исследовать деятельность с учетом прогнозных математических зависимостей между характеристиками используемых информационных технологий, получаемых результатов деятельности и их соответствия требованиям к таким результатам.

В-третьих, указано, что наиболее близкие к требуемым теоретическим средствам для решения задач устойчивого развития на основе использования информационных технологий, согласно полученным результатам – теоретические средства, так или иначе основанные на исследовании роли информации и информационных технологий в деятельности в соответствии с «деятельностной парадигмой» исследований. К ключевым словам, относящимся к такой парадигме, относятся, прежде всего: Process Science, Complexity Science, Applied Activity Theories; Systemic-Structural Activity Theory; Activity Theory; Action Theory; Action Research, Digital Philosophy. Этот вывод связан с тем, что на основе «процессной» и «деятельностной» парадигм принципиально возможно связать разные виды и разные аспекты деятельности – и прежде всего, информационные виды деятельности, связанные с получением и преобразованием знаний, обучением, социумом и с психологией деятельности – с одной стороны, и деятельности предметно-преобразующей, энергетически-материальной, инструментальной – по комплексу ее различных аспектов. Такие теоретические средства и необходимы, на наш взгляд, для решения задач, отмеченных ранее как нерешенные.

Примеры использования «деятельностного подхода» для разных видов деятельности с использованием информации и информационных технологий представлены в [1, 2]. «Деятельностный подход» (или «деятельностная парадигма») обладает значительной общностью в связи с тем, что основывается на описании деятельности в целом. Однако она не содержит, на момент написания нашей статьи, теоретических средств прогнозного аналитического оценивания деятельности, ее результатов, их соответствия требованиям – в зависимости от характеристик используемых информационных технологий. Ее математические инструменты на момент написания статьи в основном ограничены средствами моделирования проектов и программ и отчасти – средствами проектного управления. Однако эти инструменты не описывают использование информационных технологий и связи между характеристиками ИТ и характеристиками реализуемой деятельности. Тем самым следует отметить, что теоретические инструменты «деятельностного подхода», с одной стороны, характеризуются междисциплинарностью и широтой, однако во многом благодаря этому лишены устоявшихся математических средств решения задач. Тем самым следует устранить два различных несоответствия, вызванных текущим состоянием теоретических средств решения задач использования информационных технологий в деятельности.

*Концепты использования информационных операций в исследовании функционирования устойчиво развивающихся систем*

Концепты использования информационных операций при функционировании экологически устойчивых систем предложено формировать на основе науки о процессах (process science) и наук о деятельности (activity theory, action theory, action research). Предложены концепты, объясняющие и расширяющие предложенные результаты концептами информации, информационных операций, их отношениями с человеческой деятельностью, средой и устойчивым развитием.

Науку о процессах предложено определить [3] как междисциплинарное изучение непрерывных изменений (the interdisciplinary study of continuous change). Под процессом при этом понимается взаимосвязанная совокупность целенаправленных изменений состояний во времени и на разных уровнях (by process, we mean a coherent series of changes that unfold over time and occur at multiple levels).

Целенаправленные изменения требуют выполнения информационных операций, возможно – разного вида. Информация – это форма (например, запись на каком-нибудь «носителе информации») существования идеи или мысли (представлений, понятий, суждений) в материальном мире (то есть вне сознания). Она необходима для использования при получении требуемых результатов человеческой деятельности. Тем самым мы различаем отражение, которое наблюдается в материальном мире и без людей, от информации, которая отражает идеи людей. Информационная операция – операция (элемент деятельности с заданными целями, способами и прогнозируемыми результатами реализации), предназначенная для получения требуемой информации (в результате оперирования информацией). Описание информационных операций содержится в информационной технологии – совокупности описаний возможных информационных операций в разных условиях и возможных связей между ними.

Устойчивое развитие [4] в отношении к использованию цифровых технологий науки о процессах и наук о деятельности определено как способность создавать и использовать информацию о возможном будущем для реализации разных видов деятельности (разработки, обеспечения и управления развитием), чтобы они удовлетворяли потребности как ближайшего будущего, так и возможные потребности будущих поколений. Роль ИТ в таких процессах деятельности связана с предсказанием, организацией, регулярным мониторингом, изменением деятельности для того, чтобы эта деятельность вызывала как можно меньшие негативные и как можно большие позитивные последствия на горизонтах планирования, предельных для исследований в существующих условиях развития человеческой культуры. В этом смысле такая трактовка близка к предмету стратегического планирования, однако направлена на большую детализацию возможных угроз среде. Такая роль ИТ существенно отличается от традиционной (и тем не менее еще недостаточно изученной) роли, состоящей во всемерном обеспечении целенаправленных изменений в процессах деятельности на ограниченных горизонтах планирования с заданными конечными целями ограниченного круга субъектов, то есть, как правило, без учета последствий для среды и для развития системы на дальних горизонтах планирования. Для корректного описания использования информационных операций в исследовании функционирования устойчиво развивающихся систем, кроме науки

о процессах, следует исследовать и принять во внимание результаты различных теорий деятельности и [5] в приложении к реализации информационных операций.

Это необходимо в связи с тем, что наука о процессах в настоящее время не включает оригинальной концепции и методологии исследования деятельности. Однако именно деятельность и вызывает необходимость использования информационных операций и информации.

В случае разработки деятельностных аспектов науки о процессах в рамках теории использования информации при функционировании систем представляется возможным описать организационные [6, 7], социальные [8, 9], экономические [10], психологические [11], культурологические [12, 13], когнитивные, поведенческие [14], экологические и образовательные [11] аспекты использования информации при функционировании систем (в деятельности с системами). Принципы исследования использования информации при функционировании (в деятельности) [15] систем предложены далее на основе предложенных концептов, а также на основе результатов науки о процессах и теории деятельности.

*Принципы использования  
информационных операций  
в исследовании функционирования  
устойчиво развивающихся систем*

Первый принцип состоит в том, что эффекты использования информации, информационных операций в исследовании функционирования устойчиво развивающихся систем состоят в целенаправленных изменениях разного уровня (изменения состояний, изменения процессов функционирования, изменения информационных операций при функционировании), в совершенствовании и развитии деятельности в зависимости от изменяющихся условий среды. Такие изменения могут происходить как вне сознания (переработка отходов, уменьшение выбросов), так и в сознании (осознание важности сохранения ресурсов, среды, борьба с загрязнениями и выбросами). Будем рассматривать изменения вне сознания (материальные) и измерять их по характеристикам изменений в разных условиях и по мере соответствия получаемых в разных условиях изменений разного уровня требованиям субъектов деятельности. Этот принцип соответствует науке о процессах в том смысле, что, измеряя результаты информационных операций, результаты использования информации, мы должны измерять результаты изменений разного вида, разного уровня и в разных условиях в их

комплексе. Такие измерения результатов использования информации как комплекса возможных изменений должны быть в соответствии с определением науки о процессах, в ядре этой науки. Однако в настоящее время концепция описания использования информации, информационных операций, особенно с использованием математических методов и моделей, недостаточно хорошо развита в науке о процессах. При этом, рассматривая изменения в результате информационных операций, должны быть также рассмотрены уровни изменений (например, изменение процесса, изменение информации о процессе, изменение информационных операций) и возможности таких изменений в зависимости от изменений среды. Информационные операции используются для того, чтобы разработать и подготовить любой целенаправленный процесс. Однако затем возможны и изменения других уровней, например изменения при реализации процесса функционирования системы в результате изменений условий среды. Такие изменения более высоких уровней должны быть учтены при рассмотрении качества функционирования устойчивых систем.

Второй принцип состоит в том, что качество использования информации при функционировании заданной системы следует измерять аналитически, на основе математических моделей и методов – по тому, как изменяются характеристики процессов функционирования системы, результаты функционирования и как изменяется мера соответствия (изменяющихся) результатов функционирования (изменяющимся) требованиям к этим результатам со стороны среды (в том числе требованиям субъектов, в интересах которых реализуется функционирование).

Третий принцип состоит в том, что изменения среды и процессов функционирования при реализации деятельности в устойчиво развивающихся системах следует рассматривать как регулярно проявляющиеся изменения. Тем самым после серии изменений среды и последующих необходимых реакций устойчиво развивающейся системы, с использованием информационных технологий, необходимо рассмотреть последующие возможные изменения – в зависимости от тех или иных альтернативных событий в среде и системе. В результате формируются последовательности альтернативных изменений или сценарии возможных изменений. По характеристикам возможных совокупностей таких сценариев и по их соответствию требованиям и следует оценивать функционирование устойчиво развивающихся систем – в зависимости

от условий и характеристик информационных операций (и соответствующих информационных технологий).

В результате становится возможной оценка качества функционирования устойчиво развивающихся систем аналитически, с использованием математических моделей возможных сценариев изменений среды и последующих реакций устойчиво развивающихся систем, на основе меры оценивания мер соответствия результатов функционирования устойчиво развивающихся систем (изменяющимся) требованиям.

### Заключение

На основе выполненного обзора существующих результатов исследования использования информационных операций и соответствующих технологий при функционировании устойчиво развивающихся систем предложена концепция использования информационных операций при исследовании устойчиво развивающихся систем на основе науки о процессах и теорий деятельности. Обоснованы основные концепты и принципы использования информационных операций при исследовании функционирования устойчиво развивающихся систем. Полученные результаты позволяют перейти к построению математических моделей функционирования устойчиво развивающихся систем в изменяющихся условиях.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-18-00042 и 19-08-00989 и при поддержке бюджетной научно-исследовательской работы 0073-2019-0003.*

### Список литературы

1. Blayone T.J.B. Theorising effective uses of digital technology with activity theory. *Technology, Pedagogy and Education*. 2019. Vol. 28. No. 4. P. 447–462.
2. Staron M. *Action Research in Software Engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 232.
3. Brocke J., Aalst W., Grisold T., Kremser W., Mendling J., Pentland B., Recker J. *Process Science: The Interdisciplinary Study of Continuous Change*. SSRN, Sep. 3. 2021. P. 1–9.
4. Sustainable entrepreneurship, renewable energy-based projects, and digitalization / ed Omrane A. Boca Raton FL: CRC Press. Taylor & Francis Group LLC, 2021. 345 p.
5. Karanasios S., Allen D. Activity theory in Information Systems Research. *Information Systems Journal*. 2018. Vol. 28. No. 3. P. 439–441.
6. Turban E. *Information technology for management*. Hoboken, NJ: Wiley, 2015. 460 p.
7. Karanasios S. Toward a unified view of technology and activity. *Information Technology & People*. 2018. T. 31. No. 1. P. 134–155.
8. Umapathy K. *The Language-Action Approach: Information Systems Supporting Social Actions*. *Information Systems Theory / ed. Dwivedi Y., Wade M., Schneberger S.* New York, NY: Springer New York, 2012. P. 59–70.
9. Miettinen R., Paavola S., Pohjola P. From Habituality to Change: Contribution of Activity Theory and Pragmatism to Practice Theories. *Journal for the Theory of Social Behavior*. 2012. Vol. 42. No. 3. P. 345–360.
10. Мизес Л. *Человеческая деятельность: трактат по экономической теории*. М.: Социум, 2019. 878 с.
11. Bedny G.Z. *Work activity studies within the framework of ergonomics, psychology, and economics*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2019. 461 p.
12. Sannino A., Engeström Y. Cultural-historical activity theory: founding insights and new challenges. *Cultural-Historical Psychology*. 2018. Vol. 14. No. 3. P. 43–56.
13. Cole M., Ferholt B., Jornet A. Acknowledging changes and the challenges ahead. *Mind, Culture and Activity*. 2019. Vol. 26. No. 4. P. 283–285.
14. Ajzen I. The theory of planned behavior: reactions and reflections. *Psychology & health*. 2011. Vol. 26. No. 9. P. 1113–1127.
15. Гейда А.С., Ашимов А.А., Лысенко И.В., Юсупов Р.М. Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания // Труды СПИИРАН [SPIIRAS Proceedings]. 2018. Т. 5. С. 241–270.