

УДК 330.46

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-538

Маштаков Максим Михайлович ¹,

аспирант;

Брусакова Ирина Александровна ²,

зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

^{1,2} Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),

¹ max.mashtakov.99@mail.ru, ² brusakovai@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу применимости теории устойчивости к оценке устойчивости цифровых экосистем. Цель данной работы заключается в обзоре основных существующих концепций устойчивости в рамках современных тенденций, а также методов для оценки устойчивости экономических систем и формировании системы индексов устойчивости цифровых экосистем. Цифровая экосистема рассматривается как взаимосвязанная совокупность бизнес-моделей, бизнес-архитектур, бизнес-процессов экосистемы. Индексы устойчивости предлагается дополнить индексами степени инновационности цифровых экосистем.

Ключевые слова: устойчивое развитие, экосистема, устойчивость экосистем, индексы устойчивого развития, математические методы, системный подход, устойчивость процессов, инновационность управленческих решений.

*Maxim M. Mashtakov*¹,

Postgraduate Student;

*Irina A. Brusakova*²,

Head of Department, Doctor of Technical Sciences

MODELS AND METHODS FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF DIGITAL ECOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF INNOVATION PROCESSES

^{1,2} Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, Russia,

¹ max.mashtakov.99@mail.ru, ² brusakovai@mail.ru

Abstract. The article examines the applicability of resilience theory to assessing the resilience of digital ecosystems. The aim of this work is to review the main existing concepts of sustainability within the framework of current trends, as well as methods for assessing the sustainability of economic systems and the formation of a system of indices of sustainability of digital ecosystems. The digital ecosystem is seen as an interconnected collection of business models, business architectures, ecosystem business processes. Sustainability indices are proposed to be supplemented with indices of the degree of innovation of digital ecosystems.

Keywords: sustainable development, ecosystem, sustainability of systems, sustainable development indices, mathematical methods, systems approach, sustainability of processes, innovativeness of management solutions.

Введение

Актуальность задач оценки устойчивости цифровых экосистем обусловлена необходимостью гибкого реагирования и адаптации к быстро меняющимся внешним и внутренним факторам. Концепция устойчивого развития, концепция ESG – тренды новых технологических укладов. Впервые концепция устойчивости систем была представлена и предложена в рамках заседания ООН в знаменитом «Докладе Брунтланн» или «Наше общее будущее» [1].

Сама концепция, как и понятие, считается многогранной и изначально не была воспринята положительно из-за необходимости к изменению в работах социально-экономических систем (предприятий), однако в современном мире, огромное число компаний не только являются членами всемирного совета по устойчивому развитию, но и считают его одной из основных целей. Процент компаний, считающий устойчивое развитие одной из основных задач составляет около 95 % [2]. Однако авторы многих статей, например [2], подчеркивают, что экспертам было тяжело прийти к какой-либо общей философии на этот счет, что породило большое количество различных моделей этой концепции, о которых речь пойдет в следующем пункте.

Цифровая экосистема описывает многопроцессную модель системы взаимодействия стейкхолдеров с составляющими экосистему элементами. Эти элементы представляют необходимые сведения о бизнес-модели

взаимодействия, о бизнес-процессах, о бизнес-архитектуре, об ИТ-архитектуре и т. д.

Текущие споры в данной теме вызваны различающимися мнениями исследователей о способах достижения поставленной в рамках устойчивого развития цели.

При исследовании предметной области можно прийти к выводу, что большее внимание в экономических исследованиях отдается именно экономической устойчивости. Также можно подчеркнуть, что не уделяется достаточного внимания решению более глубоких проблем или выявлению связей между обществом, экономикой и окружающей средой. Также отмечу, что огромное внимание уделяется устойчивости и устойчивому развитию на высоких уровнях – на уровнях государства, государственных образований. Мало внимания уделяется данному вопросу в контексте предприятий и экосистем, включающим несколько предприятий, следовательно, ещё меньше – процессам этих предприятий.

1. Модели устойчивого развития и проблемы классической модели

Одним из первых возникших для оценки устойчивого развития, а также наиболее интересным для меня подходов является системный, рассматривающий устойчивость как максимизацию целей в рамках экологических, экономических и социальных систем [3, 4]. На рисунке 1 представлю диаграмму, демонстрирующую суть данного подхода, где устойчивостью считается пересечение всех трех окружностей, которые представляют аспекты устойчивости из «классической модели».

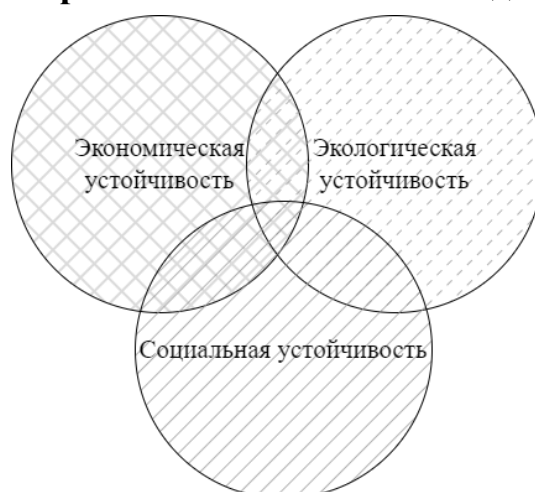


Рис. 1. Классическая модель устойчивого развития

Соответственно, неустойчивым будет являться такое развитие, где хотя бы один из кругов, представляющих аспекты, не пересекается с остальными.

Однако у данной модели есть ряд ограничений, частично представленных, например в [2], из-за чего она нуждается в доработке и модернизации с учетом современных экономических трендов. Во-первых, такой подход является крайне ограниченным, так как рассматривает экономический, социальный и экологический аспекты как самостоятельные, независимые и невзаимодействующие, что приводит к ряду проблем. Например, в рамках дебатов большее внимания отдается экономике, что подтверждается наблюдаемым мной дефицитом статей по темам социальной и экологической устойчивости систем в контексте устойчивого развития.

Отсутствие универсальности трех аспектов также рассмотрено в статье [4]. Автор утверждает, что существует множество работ, которые выделяет иные «столпы» или иное количество этих «столпов».

Исходя из изложенных выше проблем, некоторыми экспертами были предприняты попытки создания собственных интерпретаций систем устойчивого развития. Приведем некоторые примеры моделей, представленных в [4, 5].

В иерархической структуре Global Reporting Initiative (GRI) представлены расширенные индикаторы для социальной составляющей этой системы. В этой модели особое внимание уделяется таким показателям как: условия труда, права человека, ответственность производителя перед обществом.

В модели United Nations Commission for Sustainable Development (UNCSD), разработанной для представления достижения целей устойчивого развития государством, выделен дополнительный четвертый показатель: институциональный. Иерархическая структура группирует показатели по 38 подтемам и 15 основным темам, которые разделены между четырьмя аспектами устойчивого развития.

Модель Institute of Chemical Engineers (IChemE) демонстрирует показатели устойчивости операций в перерабатывающей промышленности, однако при этом очень близка по аспектам к классической модели, так как тоже содержит экономический, социальный и экологический аспекты. Считаю данную модель одной из наиболее интересных для меня, так как она наиболее близка к представлению организаций с помощью моделей устойчивого развития.

Ещё одна описанная в статье модель – Wuppertal Sustainable Development Indicator. Наиболее интересным в данной модели является представление индикаторов взаимодействия между аспектами, что, несомненно, необходимо учитывать в современных исследованиях, а также способствует устранению слабых мест классической модели, которые были описаны в [2]. Также, модель, частично решающая такие проблемы представлена в [6] и представляющаяся в виде трех вложенных кругов. Приведу графическое представление на рис. 2.



Рис. 2. Вложенная модель устойчивого развития

Однако, по нашему мнению, данное представление устойчивого развития не позволяет оценить устойчивость в контексте системного подхода к

данному вопросу и устраняет лишь философские проблемы понимания вопросов и концепции устойчивого развития.

Даже с учетом представленных выше проблем классической модели и возможных вариантов её модификации, эксперты обычно рассматривают системный подход к решению данной проблемы, отталкиваясь от модели, представленной на рисунке 1, однако он актуален и для любой другой модели, описывающий рассматриваемый объект (в нашем случае – предприятие и инновационные процессы предприятия) как систему. Основная мысль заключается в том, что максимизация целей только одного аспекта (или системы) не позволит достигнуть устойчивости, так как игнорирует: своё воздействие на другие системы и воздействие других систем на самих себя, что противоречит принципу открытых систем. В таком случае устойчивость достигается только в условиях баланса между целями всех систем модели предприятия или процесса. Однако в статьях, например, в [3] отмечается, что нынешнее применение этого подхода «не дает никаких указаний относительно того, как следует находить компромисс между целями различных систем.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что выбор стратегии развития для достижения устойчивости принадлежит исполнителю. В эту стратегию входят в том числе модели процессов, модель устойчивого развития, а также методы определения целей, индексы и математические методы для решения задачи устойчивости.

По нашему мнению, при оценке устойчивости и устойчивого развития предприятия информационной сферы и его инновационных процессов существует возможность и предпосылки для замены экологического аспекта устойчивости на иной, например, степень инновационности бизнес-модели, бизнес-архитектуры, бизнес-процессов.

Кроме этого, надо учитывать системный подход к формированию и анализу поведения цифровой экосистемы на базе принципов системного инжиниринга.

2. Подходы к оценке устойчивости: индексы и методы

2.1. Индикаторы для оценки устойчивости

Для оценки устойчивости систем зачастую применяются различные математические методы. Однако для применения этих методов необходимо выделить индикаторы, на базе которых будут строиться математические модели. Различные источники описывают индикаторы, утвержденные ООН [3, 5, 6], но они не являются универсальными. Также многие индексы не являются однозначными. Так, например, при оценке устойчивости учебного заведения можно выделить величину, связанную с количеством поступающих. Однако проблема состоит в возможности применения этой величины как к экономическому аспекту, так и к социальному.

Рассмотрю часть индикаторов, которые представлены авторами различных англоязычных статей в этом пункте.

В качестве инновационных индексов наиболее интересными нам показались следующие. Суммарный индекс инноваций отражает достижения и тренды в области инноваций. Индекс инвестиций в инновации – комплексный показатель, являющийся суммой инвестиций в знания. Индекс производительности измеряет способность преобразовывать знания и инновации прогресс для увеличения конкурентоспособности и благосостояния общества. Индекс ИКТ демонстрирует развитие и применение информационно-коммуникационных технологий. Данные индексы применимы при оценке экономического аспекта или инновационного аспекта, если модель его содержит. Однако некоторые, например, степень инвестиций в инновации, могут рассматриваться и как часть социального аспекта.

В статьях выделены индексы, связанные с развитием и относящиеся к социальному аспекту устойчивости. Индекс человеческого развития отражает уровень развития человека в рамках следующих показателей: продолжительность жизни, уровень образования и ВВП на душу населения. Индекс устойчивого и экономического благосостояния заменяет ВВП в качестве показателя развития по причине отсутствия в ВВП оценки действий, наносящих вред или приносящих пользу благосостоянию населения. Относительная интенсивность региональных проблем позволяет оценить относительную интенсивность региональных проблем на уровне сообщества в глобальном и синтетическом виде. Данные индексы применимы в основном на государственном уровне, но нами предпринимаются попытки по адаптации некоторых из них для применения в рамках одной организации.

В работах наблюдаются индексы, созданные для оценки устойчивости конкретных областей. Композитный индекс устойчивого развития позволяет определить степень воздействия отдельных индикаторов на общую устойчивость компании. Композитный индекс производительности устойчивости представляет собой оценку качества исполнения компаний своей политики и обязательств в отношении устойчивого развития. Индекс устойчивого развития ITT Flygt схож с предыдущим индексом в своих целях, но был создан совместно с компанией ITT Flygt и рядом других инженерных компаний. G-критерий включает в себя: общий экологический менеджмент (GEM), входящие ресурсы, процесс, исходящие ресурсы и результат; и является прокси-показателем корпоративной экологической производительности. Наличие таких индексов демонстрирует прецедент создания специфичных для отрасли индексов. Более детальное исследование таких индексов может помочь в создании композитных индексов, применимых к конкретной компании и, возможно, к конкретному процессу.

В представленных в научных работах экологических индексах также прослеживается проблема масштаба – они применимы в основном на государственном уровне. Эко-индекс характеризуется экологическим следом, который нормализуется путем применения коэффициентов

эквивалентности. Индекс живой планеты был разработан как индикатор биоразнообразия и измеряет тенденции в экосистемах. Индекс экологического следа определяется на основе количественных требований к земле и воде для поддержания текущего уровня жизни.

При применении прогнозной предиктивной аналитики для построения систем поддержки и принятия решений о степени инновационности цифровых экосистем известны способы формализации и описания так называемых «знаниевых» моделей, которые представляют собой комплексные оценки по индексам когнитивной сложности управленческой информации.

2.2. Методы оценки устойчивости

Одним из примеров метода для оценки устойчивости является метод, представленный в [7]. В рамках развития метода авторы выделили ряд особенностей для каждого аспекта устойчивости системы.

Для экономического аспекта: государство (или компании) должны стремиться к высокому и справедливому доходу для людей, высокому потенциалу экономического роста улучшению благосостояния текущего поколения (однако я бы отнес последнее к социальной составляющей устойчивости).

Для социального аспекта: необходимо стремление к улучшению благосостояния населения, а также к социальной справедливости и гармонии. В таком случае особое внимание должно уделяться показателям, связанным с образованием, здравоохранением и другими социальными благами.

Для экологического аспекта: объем ресурсов и окружающей среды оказывают влияние на психосоматическое состояние людей и, следовательно, на экономику. Следовательно, защита окружающей среды и использование ресурсов являются важными и выполняется через сохранение их количественных и качественных характеристик. Состояние леса, пашни и энергоресурсов влияют на экономические показатели и эффективность экономических активностей.

Авторами применяется метод энтропии, который обычно используется для расчета веса индикатора в системе составных индикаторов. Этот метод основан на понятии энтропии из теории информации. Суть метода заключается в том, что с помощью энтропии измеряется степень беспорядка в системе. Следовательно, меньшая энтропия означает большую информацию, предоставляемую индикатором, а значит и больший вес при оценке. Это позволяет объективно определить вес индикатора.

Применяемые в работе метод и подход являются крайне интересными, однако подход к оценке аспектов, которые приводят авторы статьи, необходимо масштабировать до уровня предприятия и его процессов, что является уже отдельной и более сложной задачей, которая будет представлена нами в иной статье.

Более близким к нашему масштабу является метод, представленный в [8], так как данная статья идеально концентрируется на рассматриваемом

нами масштабе. Авторами предложено применение критерия Ляпунова, что является не самой простой задачей в сравнении с представленным ранее методом. Применение метода Ляпунова в экономике уже было зафиксировано, например, в [9]. В работе [8] также было предложено решение, опирающееся на применение производственных функций. В некоторых статьях [10] предлагается применение нейросетевых алгоритмов и моделей для решения данной задачи.

Заключение

В работе были рассмотрены основные положения и модели устойчивого развития с точки зрения системного подхода. Особое внимание было уделено классическим моделям, основывающимся на трех аспектах: экономическом, экологическом и социальном.

Также были рассмотрены примеры используемых для оценки устойчивости экономической системы в различных масштабах и аспектах индексы, сгруппированные по характеризующей ими составляющей. Рассмотрены индексы оценки устойчивости по: развитию, инновациям, экологии, развития отраслей. Возможным развитием тематики индексации оценки инновационности цифровых экосистем могут служить индексы когнитивной сложности цифровых экосистем. Эти индексы должны учитывать степень инновационности бизнес-модели, бизнес-архитектуры, бизнес-процессов. Как правило, эти индексы учитывают степень цифровой зрелости данных, инфраструктуры, процессов.

Список литературы

1. Brundtland G. H., Khalid M. Our common future. – 1987. – 383 p.
2. Giddings B., Hopwood B., O'Brien G. Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development // Sustainable development. – 2002. – Vol. 4. – Pp. 187–196.
3. Barbier E. B., Burgess J. C. The sustainable development goals and the systems approach to sustainability // Economics. – 2017. – Vol. 11(1). – DOI:10.5018/economics-ejournal.ja.2017-28.
4. Fath B. D. Quantifying economic and ecological sustainability // Ocean & Coastal Management. – 2015. – Pp. 13–19.
5. Singh R. K., Murty H. R., Gupta S. K., Dikshit A. K. An overview of sustainability assessment methodologies // Ecological indicators. – 2012. – Vol. 1. – Pp. 281–299.
6. Purvis B., Mao Y., Robinson D. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins // Sustainability science. – 2019. – Pp. 681–695.
7. Jin H., Qian X., Chin T., Zhang H. A global assessment of sustainable development based on modification of the human development index via the entropy method // Sustainability. – 2020. – Vol. 8. – P. 3251.
8. Красновский Д. Л., Туккель И. Л. Об устойчивости инновационных процессов // Качество. Инновации. Образование. – 2023. – № 2(184). – С. 30–34.
9. Пирожок А. А., Петрова С. Н. Применение методов А. М. Ляпунова для доказательства устойчивости экономических моделей // Journal of new economy. – 2013. – № 2(46). – С. 134–136.
10. Большеротов А. Л. Математические методы обеспечения условий устойчивости экосистем при техногенном воздействии строительства на окружающую среду // Вестник МГСУ. – 2011. – № 4. – С. 454–459.