

Научная статья
УДК 519.711, 004.94
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дарья Николаевна Халиуллина^{1✉}, Виталий Викторович Быстров²

^{1, 2}*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

¹*khaliullina@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>*

²*bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>*

Аннотация

Поднимаются вопросы создания теоретического фундамента оценки жизнеспособности социально-экономических систем, оказывающих влияние на региональное развитие. Авторы предлагают подход к измерению состояния региональных социально-экономических систем на основе адаптации принципов управления жизнеспособностью критических инфраструктур. В качестве базисной структуры оценки жизнеспособности предлагается использовать многомерный куб данных, принцип построения которого также приводится в статье. Описывается общий алгоритм вычисления жизнеспособности социально-экономических систем с указанием специфических особенностей реализации отдельных его этапов. В качестве примера работоспособности предлагаемого подхода рассматривается процесс вычисления жизнеспособности учреждения высшего образования.

Ключевые слова:

критическая инфраструктура, жизнеспособность, индикаторная оценка, многомерный куб данных, социально-экономическая система

Благодарности:

статья выполнена по теме государственного задания № 122022800547-3 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Для цитирования:

Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Теоретические основы оценки жизнеспособности региональных социально-экономических систем // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 78–92. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

Original article

THEORETICAL FOUNDATIONS TO ASSESS THE RESILIENCE OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Darya N. Khaliullina^{1✉}, Vitaliy V. Bystrov²

^{1, 2}*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹*khaliullina@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-7273-0649>*

²*bystrov@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9369-8457>*

Abstract

The article raises problems of designing a theoretical foundation to assess the resilience of socio-economic systems that influence regional development. The authors propose an approach to measuring the state of regional socio-economic systems based on the adaptation of the principles of managing the critical infrastructures resilience. It is proposed to use a multidimensional data cube as a basic structure for assessing resilience. The principle of construction of data cube is also given in the article. The authors describe a general algorithm for measuring the resilience of socio-economic systems, indicating the specific features of the implementation of its individual stages. As an example of the efficiency of the proposed approach, the process of measuring the resilience of a higher education institution is considered.

Keywords:

critical infrastructure, resilience, indicator assessment, multidimensional data cube, socio-economic system

Acknowledgments:

the article was written on the topic of state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122022800547-3.

For citation:

Khaliullina D. N., Bystrov V. V. Theoretical foundations to assess the resilience of regional socio-economic systems // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 78–92. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.007

Введение

Управление региональными социально-экономическими системами (РСЭС) все еще остается актуальной практической задачей, поскольку ошибочное решение в сфере управления может привести к непоправимым последствиям. Одним из возможных путей преодоления таких трудностей может стать использование специализированных систем поддержки принятия решений.

Одним из мировых трендов управления сложными системами является концепция жизнеспособности систем и критических инфраструктур. Анализ открытых источников по данной тематике позволяет сделать вывод о разнородности подходов к определению термина «жизнеспособность» [1–5]. В текущем исследовании под жизнеспособностью понимается способность системы, подвергающейся негативным событиям, сопротивляться, поглощать, приспосабливаться и восстанавливаться после последствий данных событий своевременным и эффективным образом, в том числе путем сохранения и восстановления ее основных структур и функций [6].

Основной идеей текущего исследования является применение концепции жизнеспособности для разработки средств информационно-аналитической поддержки управления РСЭС. В частности, предлагается создать систему поддержки принятия решений, которая позволила бы выполнять следующие ключевые задачи: 1) оценивать жизнеспособность РСЭС в определенный момент времени на протяжении всего жизненного цикла жизнеспособности системы; 2) прогнозировать состояние РСЭС и ее жизнеспособность при реализации различных сценариев развития системы (на основе имитационного моделирования); 3) вырабатывать рекомендации для формирования корректирующих воздействий на РСЭС (реализуемых посредством определенных мероприятий).

В рамках данной статьи делается акцент на разработку теоретического базиса для оценки жизнеспособности региональной социально-экономической системы с позиции управления критическими инфраструктурами. Предложенный подход к оценке жизнеспособности тестируется на примере системы кадрового обеспечения Мурманской области.

РСЭС и критические инфраструктуры

Предполагается, что основными объектами, от функционирования которых зависит жизнеспособность всей региональной системы, являются критические инфраструктуры. В рамках данного исследования под критической инфраструктурой (КИ) понимается многокомпонентная распределенная система, состоящая из множества взаимозависимых подсистем, нарушение работоспособности хотя бы одной из которых может привести к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения (в широком смысле) и оказать значительное влияние на функционирование других подсистем и жизнеспособность КИ в целом [7].

В общем виде региональную социально-экономическую систему можно представить, как совокупность критических инфраструктур и вспомогательных подсистем:

$$S = (\cup_i^N CI_i) \cup (\cup_j^K E_j), \quad (1)$$

где CI_i — i -я критическая инфраструктура РСЭС; E_j — j -я вспомогательная подсистема РСЭС; N — количество критических инфраструктур, входящих в РСЭС; K — количество вспомогательных подсистем, входящих в РСЭС.

В частных случаях влияние вспомогательных систем на жизнеспособность РСЭС может быть ничтожно мало, поэтому:

$$\cup_j^K E_j = \emptyset. \quad (2)$$

Отметим, что под вспомогательной подсистемой понимается система, нарушение работоспособности которой не приводит к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения (в широком смысле).

В качестве критических инфраструктур в региональной социально-экономической системе выделим следующие подсистемы: экономическую ($КИ_1$); экологическую ($КИ_2$); промышленную ($КИ_3$); кадровую — система кадрового обеспечения ($КИ_4$) и другие подсистемы ($КИ_i, \dots, КИ_k$).

Оценка жизнеспособности критических инфраструктур

Для разработки системы оценки жизнеспособности региональной социально-экономической системы предлагается использовать многомерный куб данных из OLAP-систем [8] (рис. 1).

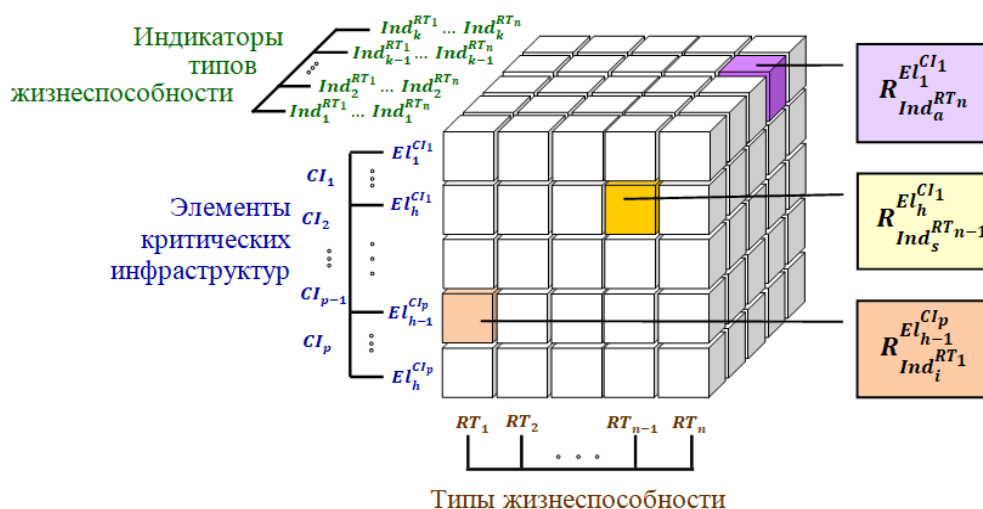


Рис. 1. Многомерный куб оценки жизнеспособности РСЭС

Согласно предлагаемому подходу (см. рис. 1), оценка жизнеспособности региональной социально-экономической системы проводится по следующим измерениям.

1. Ось Y отражает структурный состав критических инфраструктур (CI), которые формируют РСЭС. При декомпозиции (развертывании) каждой КИ получаем совокупность элементов всех входящих в РСЭС критических инфраструктур $\{El_1^{CI_1}, \dots, El_h^{CI_1}, El_1^{CI_2}, \dots, El_h^{CI_2}, \dots, El_1^{CI_p}, \dots, El_h^{CI_p}\}$.

2. На ось X отображаются различные категории (типы) жизнеспособности ($< RT_1, RT_2, \dots, RT_n >$): общественная (RT_1), экономическая (RT_2), экологическая (RT_3), технологическая (RT_4), организационная (RT_5), информационная (RT_6) и другие.

3. На оси Z представлено распределение индикаторов по каждому типу жизнеспособности $\{Ind_1^{RT_1}, \dots, Ind_k^{RT_1}, \dots, Ind_1^{RT_n}, \dots, Ind_k^{RT_n}\}$.

Предлагаемый подход позволяет рассчитывать жизнеспособность региональной социально-экономической системы, жизнеспособность выделенной КИ и, более того, жизнеспособность отдельно взятого элемента любой КИ, которая входит в состав РСЭС.

Таким образом, $R_{Ind_i^{RT_z}}^{El_j^{CI_f}}$ — содержимое каждой ячейки куба с информацией о конкретном значении определенного индикатора конкретного типа жизнеспособности для оценки выделенного элемента КИ, входящей в состав РСЭС. При этом: R — жизнеспособность элемента КИ, входящей в РСЭС; $Ind_i^{RT_z}$ — i -й индикатор z -й категории жизнеспособности; RT_z — z -я категория жизнеспособности; $El_j^{CI_f}$ — j -й элемент f -й КИ, входящей в РСЭС; CI_f — f -я КИ, входящая в РСЭС.

Апробация подхода оценки жизнеспособности РСЭС

Одним из примеров КИ, входящей в региональную социально-экономическую систему и имеющей повышенную важность для регионального развития арктического региона, является система кадрового обеспечения. С позиции жизнеспособности РСЭС значимость данной системы подтверждается тем, что изменения, происходящие в кадровой подсистеме, существенно влияют на другие подсистемы, формирующие РСЭС. В свою очередь, для обеспечения жизнеспособности кадровой подсистемы на требуемом уровне необходимо стремиться к балансу спроса и предложения на региональном рынке труда.

Основными элементами кадровой подсистемы являются такие критические инфраструктуры, как система формирования спроса на трудовые ресурсы (СФС) и система формирования предложений для регионального рынка труда (СФП). В рамках предлагаемого подхода данные системы будут элементами первого уровня декомпозиции КИ на элементы (на рис. 1 ось Y — «Элементы критических инфраструктур»). Необходимо принимать во внимание, что полученные элементы КИ также можно детализировать, в результате чего появятся новые элементы — второй уровень декомпозиции. Количество уровней декомпозиции КИ определяется экспертно в зависимости от решаемой прикладной задачи.

Для получения оценки жизнеспособности кадровой подсистемы необходимо провести расчеты по всем индикаторам всех типов жизнеспособности всех уровней декомпозиции КИ. Одним из возможных вариантов оценки жизнеспособности является использование ее интегрального показателя, расчет которого можно проводить по-разному: 1) приведение многомерной структуры к одному значению с помощью вычисления взвешенных сумм (достоинством метода является относительная простота и понятность организации вычислительной процедуры при наличии адекватных значений весовых коэффициентов); 2) получение интегрального индикатора за счет организации нечеткого вывода (достоинством данного метода является возможность использовать в оценке качественные показатели наряду с количественными).

Оба подхода к вычислению интегрального показателя жизнеспособности связаны с необходимостью использования экспертных знаний. В первом случае экспертные знания применяются для определения важности индикаторов через весовые коэффициенты, а во втором — для фаззификации нечетких переменных и определения правил нечеткого вывода.

Пример формирования системы индикаторов

Для проведения оценки жизнеспособности элемента КИ, входящей в региональную социально-экономическую систему, необходимо иметь данные о системе индикаторов (с указанием конкретных значений) по каждому типу жизнеспособности.

В качестве примера расчета элементарной ячейки многомерного куба данных рассмотрим задачу оценки элемента КИ — региональной системы высшего образования. С точки зрения иерархии элементов КИ рассматриваемая система высшего образования (ВО) является системой 3-го уровня декомпозиции системы кадрового обеспечения [7]:

- региональная система кадрового обеспечения
- система подготовки кадров
- **система высшего образования**
- учреждение (организация) высшего образования.

В качестве элемента системы ВО рассматривается конкретное высшее учебное заведение (например, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение ВО «Мурманский государственный технический университет»).

Для формирования групп индикаторов по типам жизнеспособности учреждений ВО рационально использовать уже существующие подходы и системы оценки качества образовательных организаций. В частности, в работе использовались информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций ВО [9].

Прежде чем обсуждать перечень конкретных индикаторов того или иного типа жизнеспособности РСЭС, предлагается определиться с семантическим наполнением каждого вида жизнеспособности. Ниже приводится взгляд авторов исследования на содержание отдельных категорий жизнеспособности с позиции решения вопросов кадрового обеспечения региона. Отметим, что это мнение носит субъективный характер и может расходиться с экспертными мнениями других исследователей.

В работе под общественной жизнеспособностью понимается тип жизнеспособности РСЭС, который связан с вопросами социального взаимодействия РСЭС с различными сообществами (отдельными категориями регионального населения, органами муниципальной и региональной государственной власти, представителями бизнес-структур и промышленности и др.) и с их влиянием на состояние РСЭС.

Экономическая жизнеспособность представляет собой такой тип жизнеспособности РСЭС, который рассматривает проблемы экономического взаимодействия РСЭС с хозяйствующими субъектами региональной экономики и их влияние на состояние РСЭС.

Под экологической жизнеспособностью понимается тип жизнеспособности РСЭС, который сосредотачивается на вопросах взаимного влияния РСЭС и окружающей среды, а также вопросах применения зеленых технологий для защиты окружающего мира.

В качестве технологической жизнеспособности выступает такой тип жизнеспособности РСЭС, в котором рассматриваются проблемы технологической оснащенности РСЭС применительно к процессам преодоления кризисных ситуаций. В рамках ниже приведенного примера технологическая жизнеспособность в основном характеризуется процессами обеспечения инфраструктурными возможностями и техническими средствами.

Организационная жизнеспособность представляет собой такой тип жизнеспособности РСЭС, в которой внимание уделяется рассмотрению вопросов функционирования РСЭС как единой организации (либо совокупности организаций) с акцентом на проблемах организационного управления.

В таблице 1 представлены индикаторы по типам жизнеспособности организаций высшего образования (ОВО), которые были выделены в ходе анализа критериев оценки качества образовательных учреждений Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с точки зрения их применимости к концепции жизнеспособности. В результате проведенного анализа 117 критериев оценки качества было отобрано 47 индикаторов жизнеспособности, сгруппированных по четырем категориям. Стоит отметить, что проведенный анализ показал отсутствие в применяемой системе оценки качества образования показателей, связанных с экологией и защитой окружающей среды. В связи с этим индикаторы оценки экологической жизнеспособности на данный момент отсутствуют, что требует проведения дополнительного исследования.

Предлагаемая авторским коллективом система индикаторов оценки жизнеспособности не является абсолютно полной. Но рассматриваемый подход оценки жизнеспособности позволяет расширять перечень индикаторов по каждому типу жизнеспособности без значительных изменений в вычислительных процедурах.

Процедура вычисления компонентов многомерного куба данных

Для расчета компонентов многомерного куба необходимо провести ряд операций. Общий алгоритм вычисления жизнеспособности РСЭС представлен на рис. 2.

Этап «Получение исходных данных» является сложной процедурой, так как он связан с анализом информации из открытых источников и экспертных знаний. Результатом данного этапа является набор конкретных значений (как количественных, так и качественных) по всем индикаторам системы оценивания (по типам жизнеспособности, элементам, критическим инфраструктурам).

Этап «Нормализация значений индикаторов» предназначен для приведения значений всех индикаторов к сопоставимому виду. В частности, значение любого индикатора отображается на 100-балльную шкалу. Нормализация проводится по следующей формуле:

$$\widehat{Ind} = \frac{Ind - \min}{\max - \min} \times 100, \quad (3)$$

где $\widehat{Ind}$ — нормализованное значение индикатора; Ind — исходное значение индикатора; $\min$ — минимально допустимое значение индикатора; $\max$ — максимально допустимое значение индикатора.

Отметим, что определение граничных значений для каждого индикатора является нетривиальной задачей и обычно требует проведения дополнительного исследования. Сложность этой подзадачи обусловлена наличием зависимости между граничными значениями и контекстом решаемой прикладной задачи.

Этап «Определение весовых коэффициентов» проводится экспертно, так как отсутствует в явном виде информация о важности индикаторов в соответствии с их влиянием на жизнеспособность системы. Реализация данного этапа может осуществляться различными методами извлечения коллективных экспертных знаний.

Таблица 1

Перечень индикаторов по типам жизнеспособности

№	Название индикатора	Допустимый диапазон	Комментарии
1	2	3	4
<i>1. Общественная жизнеспособность</i>			
1.1	Средний балл ЕГЭ студентов, принятых на обучение по программам бакалавриата и специалитета, по всем формам обучения, балл	0–100	Характеризует входное качество человеческого ресурса организации высшего образования (ОВО)
1.2	Усредненный минимальный балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ на обучение по очной форме на программы бакалавриата и специалитета	0–100	Определяет образовательный потенциал человеческого ресурса ОВО
1.3	Удельный вес численности студентов, принятых по результатам целевого приема, в общей численности студентов, принятых на первый курс по программам бакалавриата и специалитета на очную форму обучения, %	0–100	Характеризует степень взаимодействия ОВО с работодателями региона
1.4	Общая численность иностранных студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры, человек	0 — установленная квота	Характеризует международные имидж и конкурентоспособность ОВО
1.5	Доля студентов, не обеспеченных собственным общежитием, в числе студентов, нуждающихся в общежитии, %	0–100	Отражает степень привлекательности ОВО для иностранных обучающихся
1.6	Удельный вес численности обучающихся, по программам магистратуры и подготовки научно-педагогических кадров в общей численности приведенного контингента обучающихся по основным образовательным программам высшего образования, %	0–100	Отражает степень привлекательности ОВО для продолжения профессионального обучения

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
	2. Экономическая жизнеспособность		
2.1	Объем средств, полученных образовательной организацией от выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее — НИОКР) от иностранных граждан и иностранных юридических лиц, тыс. рублей	0–∞	Характеризует международную научную и экономическую деятельность ОВО
2.2	Доходы образовательной организации из всех источников в расчете на численность студентов (приведенный контингент), тыс. рублей	0–∞	Характеризует уровень привлечения финансирования за счет основной образовательной деятельности
2.3	Численность студентов, принятых по результатам целевого приема на первый курс на очную форму обучения по программам бакалавриата и специалитета, человек	0 — установленная квота	Характеризует степень финансового взаимодействия ОВО с заказчиками образовательных услуг
2.4	Общий объем НИОКР, тыс. рублей	0–∞	Отражает уровень привлечения дополнительного финансирования от научной деятельности
2.5	Удельный вес доходов от НИОКР в общих доходах образовательной организации, %	0–100	Отражает уровень привлечения финансирования от научной деятельности
2.6	Количество лицензионных соглашений, единица	0–∞	Косвенно характеризует работу ОВО по коммерциализации инновационной деятельности
2.7	Удельный вес средств, полученных образовательной организацией от использования результатов интеллектуальной деятельности, в общих доходах образовательной организации, %	0–100	Отражает уровень привлечения финансирования от научной и инновационной деятельности
2.8	Количество полученных грантов за отчетный год в расчете на 100 научно-педагогических работников (НПР), единица	0–∞	То же

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
2.9	Объем средств от образовательной деятельности, полученных образовательной организацией от иностранных граждан и иностранных юридических лиц, тыс. рублей	0–∞	Характеризует международную экономическую деятельность ОВО
2.10	Доходы образовательной организации из средств от приносящей доход деятельности в расчете на одного НПР, тыс. рублей	0–∞	Является косвенной характеристикой производительности одного сотрудника ОВО по привлечению дополнительного финансирования
2.11	Доля доходов из средств от приносящей доход деятельности в доходах по всем видам финансового обеспечения (деятельности) образовательной организации, %	0–100	Отражает степень финансовой самостоятельности ОВО относительно государства
2.12	Число предприятий, с которыми заключены договоры на подготовку специалистов, единица	0–∞	Косвенно характеризует финансовое взаимодействие с работодателями
2.13	Доходы вуза из всех источников, тыс. рублей	0–∞	Характеризует финансовую успешность ОВО
2.14	Доходы вуза из внебюджетных источников, тыс. рублей	0–∞	То же
3. Экологическая жизнеспособность			
Не выявлено			
4. Технологическая жизнеспособность			
4.1	Количество доступной вычислительной техники (ПК) в расчете на одного обучающегося, единица	0–∞	Характеризует доступность компьютерных средств для образовательной деятельности ОВО
4.2	Количество организаций инновационной деятельности (технопарков, малых предприятий, бизнес-инкубаторов, центров коллективного пользования научным оборудованием и др.), единица	0–∞	Характеризует инфраструктурные возможности осуществления инновационной деятельности ОВО
4.3	Общая площадь зданий (помещений), м ²	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность деятельности ОВО
4.4	Площадь учебно-лабораторных зданий, м ²	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность образовательной деятельности ОВО

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
4.5	Площадь, предназначенная для научно-исследовательских подразделений, м ²	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность образовательной и научно-конструкторской деятельности ОВО
4.6	Площадь общежитий, м ²	0–∞	Характеризует доступность жилищного фонда для размещения контингента ОВО
4.7	Площадь крытых спортивных сооружений, м ²	0–∞	Характеризует инфраструктурную обеспеченность физкультурно-спортивной деятельности ОВО
4.8	Доля вычислительной техники (ПК), обеспеченной выходом в глобальную сеть (Интернет), %	0–100	Характеризует доступность сетевых информационных ресурсов для деятельности ОВО
4.9	Общая площадь учебно-лабораторных помещений в расчете на одного студента, м ²	0–∞	Характеризует степень обеспеченности ОВО учебно-лабораторными помещениями
4.10	Количество экземпляров печатных учебных изданий из общего количества единиц хранения библиотечного фонда, состоящих на учете, в расчете на одного студента, единица	0–∞	Характеризует доступность получения информации из библиотечных систем ОВО
4.11	Наличие доступа к электронной библиотечной системе (ЭБС), да / нет	–	То же
5. Организационная жизнеспособность			
5.1	Отношение средней заработной платы НПП в образовательной организации (из всех источников) к средней заработной плате по экономике региона, %	0–∞	Характеризует степень финансового стимулирования труда НПП в ОВО
5.2	Средняя заработная плата профессорско-преподавательского состава (ППС) (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), тыс. рублей	0–∞	То же

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
5.3	Средняя заработная плата научных работников (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), тыс. рублей	0–∞	Характеризует степень финансового стимулирования труда штатных научных работников в ОВО
5.4	Численность аспирантов, ординаторов, ассистентов-стажеров образовательной организации в расчете на 100 студентов, единица	0–∞	Характеризует качественный состав обучающихся ОВО
5.5	Удельное количество публикаций, аффилированных с ОВО, в расчете на 100 НПР, единица	0–∞	Характеризует результативность организации научно-исследовательской деятельности ОВО
5.6	Удельный вес НИОКР, выполненных собственными силами (без привлечения соисполнителей), в общих доходах образовательной организации от НИОКР, %	0–100	Отражает степень самостоятельности ОВО в проведении научно-конструкторских работ
5.7	Удельный вес численности НПР без ученой степени до 30 лет, кандидатов наук до 35 лет, докторов наук до 40 лет в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует возрастной состав кадрового обеспечения ОВО
5.8	Удельный вес научно-педагогических работников, защитивших кандидатские и докторские диссертации за отчетный период в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует качество кадрового состава ОВО
5.9	Удельный вес численности иностранных граждан из числа НПР в общей численности НПР, %	0–100	Характеризует международную самостоятельность ОВО в научной и образовательной деятельности
5.10	Удельный вес НПР, имеющих ученую степень кандидата и доктора наук, в общей численности НПР образовательной организации (совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), %	0–100	Характеризует независимость и качество кадрового состава ОВО

Окончание табл. 1

1	2	3	4
5.11	Доля штатных работников ИПС в общей численности ИПС, %	0–100	Характеризует независимость кадрового состава ОВО
5.12	Число предприятий, являющихся базами практики, с которыми оформлены договорные отношения, единица	0–∞	Характеризует степень организационного взаимодействия с партнерами ОВО
5.13	Общая численность работников образовательной организации (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует кадровый потенциал ОВО
5.14	Общая численность ИПС (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует кадровый потенциал ИПС ОВО
5.15	Общая численность научных работников (внешние совместители и работники по договорам гражданско-правового характера не учитываются), человек	0–∞	Характеризует научный кадровый потенциал ОВО
5.16	Количество научных журналов, в том числе электронных, издаваемых образовательной организацией, единица	0–∞	Характеризует результативность организации научно-исследовательской деятельности ОВО

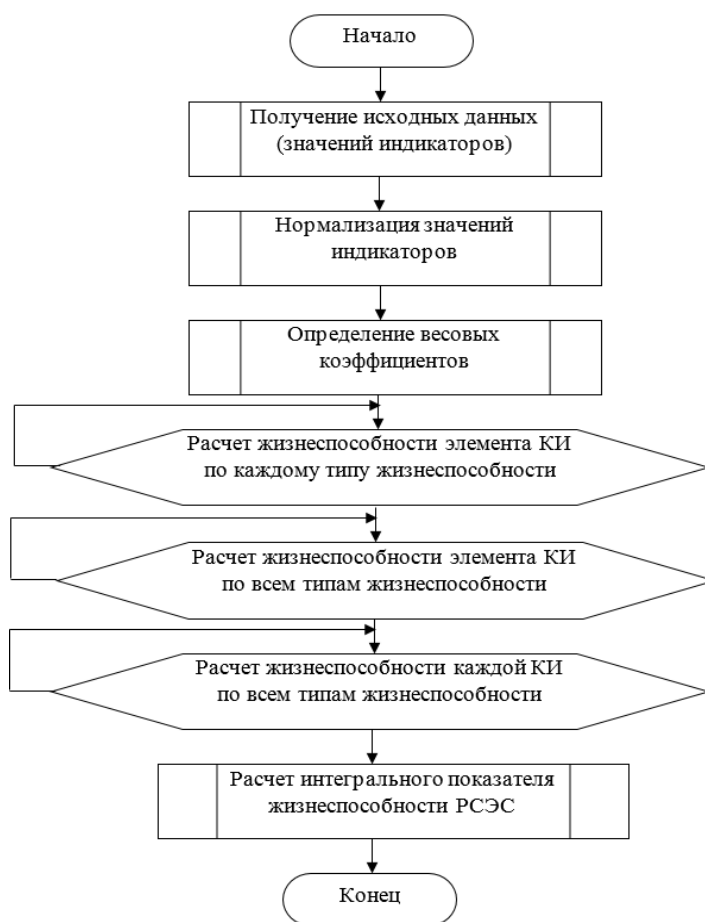


Рис. 2. Общий алгоритм вычисления жизнеспособности РСЭС

Этап «Расчет жизнеспособности элемента КИ по каждому типу жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по каждому типу жизнеспособности:

$$R_l^{Ind} = \sum_{z=1}^k (w_z^{RTl} \cdot Ind_z^{RTl}), \quad (4)$$

где w_z^{RTl} — весовой коэффициент для конкретного индикатора l -го типа жизнеспособности; Ind_z^{RTl} — значение z -го индикатора l -го типа жизнеспособности.

Этап «Расчет жизнеспособности элемента КИ по всем типам жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по всем типам жизнеспособности:

$$R_j^{RT} = \sum_{l=1}^n (w_l^{RT} \cdot R_l^{Ind}), \quad (5)$$

где R_l^{Ind} — взвешенная сумма индикаторов по j -му типу жизнеспособности; w_l^{RT} — весовой коэффициент для конкретного типа жизнеспособности.

Этап «Расчет жизнеспособности каждой КИ по всем типам жизнеспособности» представляет собой циклическую процедуру, предназначенную для расчета взвешенной суммы индикаторов по всем типам жизнеспособности для каждой КИ:

$$R_i^{CI} = \sum_{j=1}^h w_j^{CIi} \cdot R_j^{RT}, \quad (6)$$

где R_j^{RT} — взвешенная сумма индикаторов по всем типам жизнеспособности; w_j^{CIi} — весовой коэффициент для j -го элемента i -й КИ.

Этап «Расчет интегрального показателя жизнеспособности» предназначен для расчета интегрального показателя (RII — resilience integral indicator), представляющего собой взвешенную сумму индикаторов по всем типам жизнеспособности по всем КИ, входящим в состав РСЭС:

$$RII = \sum_{i=1}^p w_i^{CI} \cdot R_i^{CI}, \quad (7)$$

где R_i^{CI} — взвешенная сумма индикаторов по всем типам жизнеспособности для i -й КИ; w_i^{CI} — весовой коэффициент для конкретной КИ.

В качестве примера использования предлагаемого подхода к оценке жизнеспособности РСЭС рассмотрим частную задачу анализа жизнеспособности ведущих образовательных ОВО Мурманской области. К таким объектам исследования относятся два крупнейших региональных вуза — Мурманский государственный технический университет и Мурманский арктический государственный университет. Остальные образовательные организации не рассматриваются, так как являются филиалами и существенно уступают представленным вузам по показателям.

В таблице 2 приводятся некоторые результаты вычисления жизнеспособности двух рассматриваемых вузов. В частности, приводится пример рассчитанных индикаторов и весовых коэффициентов для одного типа жизнеспособности (общественная жизнеспособность). Также приводятся оценки каждого типа жизнеспособности для вузов. В результате дается оценка жизнеспособности вузов как элементов КИ РСЭС.

Отметим, что вычисления выполнялись в соответствии с приводимым на рис. 2 общим алгоритмом вычисления жизнеспособности РСЭС. При этом в качестве исходных данных для системы индикаторов использовались результаты мониторинга качества образования вузов Российской Федерации за 2021 г. Для проведения процедур вычисления весовых коэффициентов как для индикаторов, так и для каждого типа жизнеспособности привлекались три эксперта в области подготовки кадров и системы ВО. Расчет весовых коэффициентов осуществлялся с помощью метода ранжирования по степени важности для жизнеспособности.

Таблица 2

Результаты вычисления жизнеспособности элемента КИ (пример)

№ индикатора	Значение индикатора		Нормализованное значение		Весовой коэффициент
	вуз № 1	вуз № 2	вуз № 1	вуз № 2	
1.1	63,48	63,79	63,48	63,79	0,17
1.2	43,88	52,35	43,88	52,35	0,19
1.3	1,96	5,02	1,96	5,02	0,11
1.4	53	19	53	19	0,14
1.5	0	0	0	0	0,21
1.6	11,14	6,83	11,14	6,83	0,18
Жизнеспособность					
				вуз № 1	вуз № 2
1. Общественная				4,98	4,37
2. Экономическая				17,73	15,83
3. Экологическая				0	0
4. Технологическая				23,08	12,78
5. Организационная				19,9	19,47
Жизнеспособность элемента КИ				65,68	52,44

В результате проделанных вычислений были получены оценки жизнеспособности двух региональных вузов. Оценка представляет собой вещественную величину, которая может принимать значение от 0 до 100 и содержательно может быть интерпретирована как балльная оценка жизнеспособности. Чем выше значение оценки жизнеспособности, тем лучше система приспособлена к преодолению кризисных событий.

Тестирование подхода оценки жизнеспособности показало, что присутствуют нерешенные вопросы, которые требуют дополнительных изысканий и конкретизации вычислительных схем. В частности, вопрос определения крайнего допустимого значения индикаторов остается открытым, так как в перечне индикаторов есть показатели, интервал значений которых содержит бесконечность. На данном этапе исследования граница допустимых значений конкретного индикатора определялась как максимальное значение данного индикатора по всем оцениваемым элементам КИ.

Заключение

В современных условиях всеобщей цифровизации общества и экономики Российской Федерации проблемы регионального развития по-прежнему остаются актуальными. Для их решения целесообразно использовать технологии искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных. В частности, системы поддержки принятия решений в сфере регионального управления могут найти практическое применение в органах исполнительной власти разных уровней государственного управления.

Текущее исследование направлено на создание теоретических и программных средств информационно-аналитической поддержки управления региональным развитием на базе актуальной концепции жизнеспособности критических инфраструктур. В статье рассматриваются вопросы измерения жизнеспособности РСЭС. Предлагается использовать понятие многомерного куба данных из OLAP-технологий для организации вычислительных механизмов оценивания жизнеспособности систем. По мнению авторов, предлагаемый подход оценки жизнеспособности обладает свойствами универсальности, так как позволяет оценивать жизнеспособность как системы в целом, так и отдельных ее компонентов в разрезе различных типов жизнеспособности.

Приводимые в статье система индикаторов и расчеты на ее основе жизнеспособности компонента региональной социально-экономической системы носят показательный характер. Они используются в качестве примера для демонстрации применимости предлагаемого подхода оценки жизнеспособности, но могут обладать эффектом субъективности, требующим дальнейшей проработки вопросов с привлечением экспертов из разных отраслей знаний.

Список источников

1. Villagran de Leon J. C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review [Электронный ресурс] // Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. URL: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
2. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses // Global Environmental Change. 2006. Vol. 16 (3). P. 253–267.
3. Liu H. J. et al. Conceptual framework of life-cycle performance measurement: Ensuring the resilience of transport infrastructure assets // Transp. Res. Part D Transp. Environ. 2019. Vol. 77. P. 615–626.
4. Aldrich D. P., Meyer M. A. Social Capital and Community Resilience // Am. Behav. Sci. 2014. Vol. 59. P. 254–269.
5. Quanyan Zhu, Dong Wei, Kun Ji. Hierarchical Architectures of Resilient Control Systems: Concepts, Metrics, and Design Principles. 32 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b19629-11/hierarchical-architectures-resilient-control-systems-concepts-metrics-design-principles-quanyan-zhu-dong-wei-kun-ji/> (дата обращения: 27.10.2022).
6. Pursiainen C. Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? // Int. J. Disaster Risk Reduct. 2018. Vol. 27. P. 632–641.
7. Халиуллина Д. Н., Быстров В. В. Жизнеспособность критических инфраструктур региональной безопасности // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. 2022. Т. 13, № 5. С. 104–116.
8. Noh B., Park H., Yeo H. Analyzing vehicle-pedestrian interactions: Combining data cube structure and predictive collision risk estimation model // Accident Analysis and Prevention. 2022. Vol. 165. P. 106539.
9. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования [Электронный ресурс]. URL: <https://monitoring.miccedu.ru> (дата обращения: 27.10.2022).

References

1. Villagran de Leon J. C. Vulnerability. A Conceptual and Methodological Review. Studies of the University: Research, Counsel, Education (Publication Series of UNU-EHS), 4, 2006. Available at: <https://collections.unu.edu/eserv/unu:1871/pdf3904.pdf> (accessed 27.10.2022).
2. Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 2006, vol. 16, no. 3, pp. 253–267.
3. Liu H. J., Love Peter E. D., Sing Michael C. P., Niu B., Zhao J. Conceptual framework of life-cycle performance measurement: Ensuring the resilience of transport infrastructure assets. *Transp. Res. Part D Transp. Environ*, 2019, vol. 77, pp. 615–626.
4. Aldrich D. P., Meyer M. A. Social Capital and Community Resilience. *Am. Behav. Sci.*, 2014, vol. 59, pp. 254–269.
5. Quanyan Zhu, Dong Wei, Kun Ji. Hierarchical Architectures of Resilient Control Systems: Concepts, Metrics, and Design Principles. 32 p. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b19629-11/hierarchical-architectures-resilient-control-systems-concepts-metrics-design-principles-quanyan-zhu-dong-wei-kun-ji/> (accessed 27.10.2022).
6. Pursiainen C. Critical infrastructure resilience: A Nordic model in the making? *Int. J. Disaster Risk Reduct*, 2018, vol. 27, pp. 632–641.
7. Khaliullina D. N., Bystrov V. V. Zhiznesposobnost' kriticheskikh infrastruktur regional'noj bezopasnosti [Resilience of critical infrastructure of regional security]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Informacionnye tekhnologii* [Transactions of the Kola Science Centre. Information Technologies], 2022, vol. 13, no. 5, pp. 104–116. (In Russ.).
8. Noh B., Park H., Yeo H. Analyzing vehicle-pedestrian interactions: Combining data cube structure and predictive collision risk estimation model. *Accident Analysis and Prevention*, 2022, vol. 165, pp. 106539.
9. Informacionno-analiticheskie materialy po rezul'tatam provedeniya monitoringa deyatel'nosti obrazovatel'nyh organizacij vysshego obrazovaniya [Information and analytical materials on the results of monitoring the activities of educational institutions of higher education]. (In Russ.). Available at: <https://monitoring.miccedu.ru> (accessed 27.10.2022).

Информация об авторах

Д. Н. Халиуллина — кандидат технических наук, научный сотрудник;

В. В. Быстров — кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Information about the authors

D. N. Khaliullina — Candidate of Science (Tech.), Researcher;

V. V. Bystrov — Candidate of Science (Tech.), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 16.11.2022.
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 10.11.2022; accepted for publication 16.11.2022.