

УДК 338.47:332.1

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

Малышев Д. А.

*Советник по стратегическому развитию, почетный работник АПК России,
кафедра транспортной логистики,*

*направление - Управление водным транспортом и гидрографическое
обеспечение судоходства*

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова,*

Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Предметом исследования являются методы оценки устойчивости транспортно-логистической системы региона. Цель работы – разработка методического подхода, учитывающего не только уровень развития инфраструктуры, но и способность сохранять транспортную функцию при возмущениях. Методологическую основу составили системный подход, сравнительный анализ методик, энтропийный метод определения весов, метод анализа иерархий и приёмы многокритериального шкалирования. Разграничены сбалансированность, надёжность и восстанавливаемость как трактовки устойчивости; выявлено общее ограничение существующих методик – аддитивная свёртка, допускающая взаимную компенсацию разнородных свойств. Предложена система показателей с самостоятельным адаптационно-резервным блоком, комбинированный механизм определения весов и мультипликативная процедура свёртки. Подход апробирован на панели субъектов Российской Федерации по данным Росстата за 2022–2024 гг.

Ключевые слова: устойчивость транспортно-логистической системы, регион, интегральный показатель, адаптационно-резервный потенциал, мультипликативная свёртка, энтропийный метод, калибровка шкалы, эмпирическая апробация, транспортная инфраструктура, региональная экономика

METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING THE RESILIENCE OF A REGIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM

Malyshev D. A.

Strategic Development Advisor, Honorary Worker of the Russian Agro-Industrial Complex,

Department of Transport Logistics,

Specialization: Water Transport Management and Hydrographic Support for Navigation,

State University of Maritime and Inland Shipping named after admiral S.O. Makarov, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The subject of the study is methods for assessing the resilience of a regional transport and logistics system. The aim is a methodological approach that accounts not only for the achieved level of infrastructure development, but also for the capacity to maintain the transport function under disturbances. The methodological basis includes the systems approach, comparative analysis of methods, the entropy weighting method, the analytic hierarchy process and multicriteria scaling. Balance, reliability and recoverability are distinguished as interpretations of resilience; the common limitation of existing methods is identified, namely additive aggregation that allows mutual compensation of heterogeneous properties. A block indicator system with an independent adaptive-reserve block, a combined weighting mechanism and a

multiplicative aggregation procedure are proposed. The approach is tested on a panel of Russian regions using Rosstat data for 2022–2024.

Key words: resilience of a transport and logistics system, region, integral index, adaptive-reserve potential, multiplicative aggregation, entropy weighting, scale calibration, empirical testing, transport infrastructure, regional economy

Введение

Состояние транспортно-логистической системы региона определяет связность территории и издержки товародвижения, в этой связи система перестала быть обслуживающей надстройкой и стала самостоятельным объектом управления. Связывать напрямую развитость сети с устойчивостью при этом нельзя. Регион, располагающий плотной сетью, способен утратить транспортную функцию при отказе одного узла, а система менее оснащённая, но имеющая несколько равноценных маршрутов, остаётся работоспособной дольше.

В статье ставится задача разработать методический подход к оценке устойчивости транспортно-логистической системы региона. Этот подход должен учитывать не только достигнутый уровень развития, но и способность удерживать заданные параметры обслуживания при возмущениях. Также задача состоит в эмпирической апробации подхода на данных официальной статистики.

Целью работы является разработка методического подхода к оценке устойчивости транспортно-логистической системы региона, который учитывает не только достигнутый уровень развития, но и способность удерживать заданные параметры обслуживания при возмущениях.

В содержании понятия устойчивости транспортно-логистической системы соединяется несколько несовпадающих смысловых элементов, и смешение их остаётся источником неопределённости. К концепции устойчивого развития восходит трактовка, где устойчивость понимается как

сбалансированность экономических, экологических и социальных результатов работы транспорта [2]. Другая трактовка сформировалась ближе к теории надёжности и описывает способность выполнять заданный объём перевозок с приемлемой вероятностью отказа [13]. Акцент смещён на скорость и полноту возврата к работоспособному состоянию, в том числе при санкционных ограничениях [1].

Устойчивость понимается в работе как способность системы сохранять заданные параметры транспортного обслуживания экономики и населения при изменении внешних и внутренних условий, а также восстанавливать эти параметры за приемлемое время. Границу выполнимой работы задаёт ресурсная обеспеченность, поведение при нарушении определяется структурной избыточностью. Управляемость основана на цифровой прослеживаемость грузопотоков [4], а включённость в коридоры характеризует внешний контур [6].

На густоту и качество сети опирается инфраструктурный подход, в котором применяются коэффициенты Энгеля, Успенского и Василевского [9], а развитием его выступают рейтинговые процедуры с нормированием по нескольким измерениям [5]. Плотность сети при этом ничего не сообщает о поведении системы при отказе элемента. Потенциальный подход раскладывает логистический потенциал на транзитность, эффективность подсистем и кадры [10], но ориентирован он на возможности, а не на сохранение функции при возмущении. Сопоставление фактических значений с пороговыми лежит в основе индикативного подхода [2; 3], слабое место которого состоит в условности порогов. Пространственную дифференциацию показывает сравнительно-аналитический подход [12], непрерывность операций рассматривает процессный [11].

Принципы построения подхода и система показателей

Функциональная ориентация требует измерять не наличие объектов, а сохранение транспортной функции, неполная компенсируемость запрещает

возмещать провал одной группы свойств достижениями другой. Наблюдаемость ограничивает состав показателей данными официальной статистики, а разделение состояния и реакции предполагает отдельно измерять то, чем система располагает, и как ведёт себя при нарушении.

Инфраструктурно-ресурсный блок описывает материальную основу – густоту путей сообщения, складские мощности, долю нормативных дорог, износ подвижного состава. Функционально-операционный блок характеризует режим работы: грузооборот на единицу ВРП, скорость доставки, долю своевременных отправок, вес транспортных затрат. Адаптационно-резервный блок отвечает за поведение при возмущении: долю грузопотока с альтернативным маршрутом, диверсификацию перевозок по видам транспорта через индекс Херфиндаля – Хиршмана (НИ), резерв провозной способности узлов, цифровую прослеживаемость грузов. Эколого-социальный блок объединяет удельные выбросы, транспортную доступность и аварийность.

Часть признаков адаптационно-резервного блока в открытой региональной статистике не публикуется, поэтому вводится наблюдаемая редукция блока: диверсификация перевозок по видам транспорта и обеспеченность грузовым автопарком как доступный резерв провозной способности. Редукция сужает содержание блока, но сохраняет его функцию – измерять структурную избыточность отдельно от развитости сети.

Процедура расчёта интегрального показателя

На первом шаге происходит нормирование, и частные показатели приводятся к сопоставимому виду относительно эталонов, зафиксированных по совокупности регионов на весь горизонт наблюдения. Признаки с сильной правосторонней асимметрией логарифмируются при коэффициенте вариации свыше 0,6, после чего применяется линейное преобразование к отрезку $[z_{\min}; 1]$ – формула (1):

$$z_{ij} = z_{\min} + (1 - z_{\min}) \frac{x_{ij}^{\max} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (1)$$

где x'_{ij} – преобразованное значение показателя j в регионе i , $x'_{j\min}$ и $x'_{j\max}$ – антиэталон и эталон панели. Нижняя граница $z_{\min} = 0,1$ не даёт свёртке вырождаться при совпадении факта с антиэталоном, то есть при техническом, а не содержательном нуле.

На втором шаге происходит определение весов, которое комбинирует объективную и субъективную составляющие. Объективная рассчитывается энтропийным методом по панели из m регионов находятся доли и энтропия (2), а по ним – вес (3):

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}}, \quad e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2)$$

$$w_j^{\text{об}} = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (3)$$

Показатель, слабо различающий регионы, имеет энтропию, близкую к единице, и получает малый вес. Метод не требует опроса и воспроизводим по исходной матрице; при достаточной длине панели применим и метод главных компонент.

Субъективная составляющая формируется методом анализа иерархий [8], вектор весов есть нормированный главный собственный вектор матрицы сравнений, приемлемость суждений контролируется отношением согласованности $OS \leq 0,10$, согласованность группы – конкордацией Кендалла. Итоговый вес даёт комбинация (4):

$$w_j = \lambda w_j^{\text{об}} + (1 - \lambda) w_j^{\text{суб}}, \quad \lambda \in [0; 1] \quad (4)$$

где λ задаёт доверие к статистической составляющей. Схема снимает две крайности, так, чисто экспертные веса невоспроизводимы, чисто статистические способны обнулить вес важного, но слабо варьирующего признака. Так же определяются межблочные веса γ_k .

Свёртка внутри блока на третьем шаге выполняется средневзвешенной арифметической: признаки блока однородны, и частичная компенсация допустима. Межблочная свёртка выполняется мультипликативно (5).

$$I_k = \sum_{j \in J_k} w_j z_{ij}, \quad U = \prod_{k=1}^4 I_k^{\gamma_k}, \quad \sum_{k=1}^4 \gamma_k = 1 \quad (5)$$

где J_k – множество показателей блока k . Эта форма составляет процедурное отличие подхода: приближение любого блочного индекса к нулю обрушивает оценку независимо от остальных. Рассчитываются блочные индексы и эластичности интегрального показателя по блокам (6):

$$\frac{\partial \ln U}{\partial \ln I_k} = \gamma_k, \quad \frac{\partial \ln U_{\text{agg}}}{\partial \ln I_k} = \frac{\gamma_k I_k}{\sum_{j=1}^4 \gamma_j I_j} \quad (6)$$

Эластичность мультипликативной свёртки постоянна и равна весу блока, у аддитивной зависит от достигнутого уровня; узкое место определяется по максимуму отдачи γ_k / I_k .

Эмпирическая апробация подхода

Апробация выполнена на примере из восьми субъектов Российской Федерации, представляющих разные федеральные округа и контрастных по плотности сети, транзитности и структуре перевозок. Состав показателей и веса приведены в таблице 1, исходные значения – в таблице 2, результаты свёртки – в таблице 3.

Таблица 1 – Состав показателей и веса при $\lambda = 0,5$

Блок	Обозн.	Показатель	Тип	w_j
I ₁	x ₁	Плотность автодорог с твёрдым покрытием, км/1000 км ²	ст.	0,443
I ₁	x ₂	Плотность железнодорожных путей, км/10 000 км ²	ст.	0,306
I ₁	x ₃	Удельный вес дорог с твёрдым покрытием в общей протяжённости, %	ст.	0,251
I ₂	x ₄	Грузооборот автотранспорта на 1 км ² территории, тыс. т-км	ст.	0,506
I ₂	x ₅	Транспортоёмкость ВРП, т-км на 1 тыс. руб.	дест.	0,494
I ₃	x ₆	Индекс диверсификации перевозок по видам транспорта, 1 – ННІ	ст.	0,454
I ₃	x ₇	Грузовой автопарк на 100 км дорог с твёрдым покрытием, ед.	ст.	0,546
I ₄	x ₈	Число дорожно-транспортных происшествий на 100 тыс. чел. населения	дест.	0,568
I ₄	x ₉	Дороги с твёрдым покрытием на 10 тыс. чел. населения, км	ст.	0,432

Составлено по материалам [7]

Таблица 2 – Исходные значения показателей по регионам панели

Обозн.	Моск.	Ленингр.	Сверд.	Ростов.	Примор.	Коми	Тыва	Татар.
x ₁	862	223	132	276	94	17	21	484
x ₂	491	304	181	188	93	41	0	128
x ₃	83,4	79,2	78,1	76,7	89,3	85,7	39,8	80,3
x ₄	418,9	29,4	57,1	97,8	10,6	3,6	0,9	282,2
x ₅	2,01	1,29	2,69	3,67	0,94	1,45	1,27	4,18
x ₆	0,277	0,445	0,487	0,389	0,496	0,500	0,000	0,287
x ₇	907	428	1000	765	646	378	242	420
x ₈	45,1	85,1	64,7	70,8	133,5	119,3	151,8	81,7
x ₉	44,2	92,0	60,5	67,1	85,4	96,7	107,1	82,0

Таблица 3 – Блочные индексы, интегральный показатель и группа устойчивости

Регион	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	U	U _{адд}	Группа устойчивости	Узкое место
Московская обл.	0,973	0,853	0,757	0,611	0,826	0,835	высокая	I ₃
Свердловская обл.	0,712	0,593	0,990	0,618	0,772	0,789	высокая	I ₁
Ростовская обл.	0,783	0,503	0,757	0,629	0,703	0,711	достаточная	I ₃
Приморский край	0,699	0,697	0,767	0,443	0,692	0,699	достаточная	I ₁
Ленинградская обл.	0,794	0,730	0,584	0,715	0,689	0,695	достаточная	I ₃
Респ. Татарстан	0,840	0,522	0,450	0,669	0,598	0,621	пониженная	I ₃
Респ. Коми	0,476	0,550	0,597	0,580	0,542	0,545	пониженная	I ₁
Респ. Тыва	0,121	0,500	0,100	0,489	0,164	0,213	критическая	I ₃

Ранжирование по обоим свёрткам на панели совпадает, но разность $U_{адд}$ – U связана с коэффициентом вариации блочных индексов региона: максимальную поправку получают Республика Тыва и Республика Татарстан, минимальную – Республика Коми. Свёртка штрафует не уровень, а несбалансированность профиля.

Результат подтверждает тезис о нетождественности развитости и устойчивости. Свердловская область при пятом месте по I_1 занимает второе, по интегральной оценке, за счёт сбалансированной структуры перевозок: доля автотранспорта 0,42 против 0,83 у Московской области и Татарстана, а блок I_3 достигает 0,990. Обратный случай – Республика Татарстан: второе место по I_1 при седьмом по I_3 и максимальной транспортёмкости ВРП, что опускает её на шестое место. Республика Тыва, не имеющая железнодорожных путей общего

пользования, получает нулевую диверсификацию и предельно низкие значения двух блоков.

Некомпенсируемость проверена сценарным расчётом, так, снижение блока I_3 на 30 % при неизменных остальных блоках даёт в мультипликативной свёртке одинаковое относительное падение показателя во всех регионах, тогда как в аддитивной величина падения зависит от уровня блока и составляет от -5,4% у Республики Тыва до -14,4% у Свердловской области. Так, чем хуже был блок, тем слабее реагирует на его ухудшение аддитивная форма, то есть значимость отказывающегося элемента она занижает. Это следует из формулы (6), по которой для Республики Тыва по блоку I_3 эластичности равны 0,381 и 0,179, и недооценка блока аддитивной процедурой оказывается значимой.

Интерпретация результатов

Исходная шкала задавалась делением области определения с границами 0,35 / 0,55 / 0,75. Такое деление фиксирует лишь порядок величин и нуждается в калибровке на эмпирическом распределении, выполненной тремя процедурами. Правило «среднее $\pm$ стандартное отклонение» задаёт границы величинами $\mu - \sigma$, μ и $\mu + \sigma$. Квартильное разбиение даёт группы равной наполненности и не зависит от формы распределения. Метод естественных границ минимизирует внутригрупповую сумму квадратов отклонений, отыскивая разрывы в распределении.

Три процедуры, построенные на разных принципах, дают согласующиеся оценки; расхождение по нижней границе отражает малую наполненность панели. Усреднение показывает, что верхняя граница априорной шкалы подтверждается почти точно, две нижние сдвигаются вверх примерно на 0,10. Республика Татарстан с оценкой 0,598 при этом смещается из группы достаточной устойчивости в пониженную, что отвечает её профилю – развитая инфраструктура при слабом блоке I_3 .

Откалиброванная шкала: $U \geq 0,75$ – высокая устойчивость, $0,65 \leq U < 0,75$ – достаточная, $0,45 \leq U < 0,65$ – пониженная с выраженными узкими местами,

$U < 0,45$ – критическое состояние. Границы не универсальны: при расширении панели калибровку следует повторить, универсальна сама процедура. Шкала дополняется указанием узкого места: для пяти регионов максимум предельной отдачи приходится на блок I_3 , для трёх – на I_1 .

Выводы

Таким образом, наиболее уязвимым является блок I_3 , так как доля грузопотока с альтернативными маршрутами и резерв провозной способности узлов не публикуются. Субъективность вносят экспертные веса, хотя комбинирование с энтропийной составляющей её ограничивает. Показатель фиксирует соотношение свойств системы, причинных связей с результатами регионального развития он не устанавливает.

Сложившийся методический аппарат измеряет преимущественно развитость транспортно-логистических систем регионов, а не их устойчивость, и делается это процедурами, которые допускают взаимную компенсацию разнородных свойств. Отличие предложенного подхода состоит в том, что в оценку введён самостоятельный адаптационно-резервный блок, а свёртка выполняется в мультипликативной форме, исключающей компенсацию слабых компонентов сильными. Механизм определения весов в подходе воспроизводим, границы шкалы получены статистической калибровкой. Исходный тезис апробация подтвердила, так, регионы с сопоставимой развитостью сети существенно расходятся по устойчивости, а значимость отказывающего блока аддитивная свёртка недооценивает.

Библиографический список

1. Богомоллова И. П., Василенко И. Н., Струков Г. Н., Шатохина Н. М., Попов Н. А. Исследование отечественной логистической трансформации в условиях актуализации вопросов обеспечения экономической безопасности России // Экономические отношения. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 497–514.

2. Вострикова Е. О., Мешкова А. П. Транспортно-логистическая инфраструктура как фактор устойчивого развития региона // Экономическая безопасность. – 2022. – Т. 5, № 3. – С. 1073–1092.

3. Генералов Д. А., Жахов Н. В., Шлеенко А. В., Новосельский С. О. Индикативная оценка сбалансированности развития социально-экономической системы региона // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 10. – С. 3909–3922.

4. Квятковский Д. В. Современные цифровые технологии в обеспечении прозрачности процессов цепей поставок // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 5. – С. 1803–1818.

5. Морозова А. А. Методические рекомендации по оценке развития транспортной инфраструктуры муниципальных образований пристоличного региона // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 10. – С. 5639–5652.

6. Подольская Т. В., Сотников А. Г. Вызовы и перспективы трансформации международной логистической системы в Евразийском регионе // Экономические отношения. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 57–72.

7. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: стат. сб. / Росстат. – М., 2024. – 1081 с.

8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

9. Серова Н. А. Методический подход к оценке развития региональной транспортной инфраструктуры // Фундаментальные исследования. – 2022. – № 10-2. – С. 229–232.

10. Фрейдман О. А. Методы критериальной оценки логистического потенциала региона // Российское предпринимательство. – 2013. – Т. 14, № 3. – С. 127–130.

11. Хаирова С. М., Паравян М. К., Дубовик С. В., Карымов Н. Р. Управление качеством бизнес-процессов цепи поставок в рамках устойчивого

развития // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 12. – С. 8135–8150.

12. Шарова И. В., Самойлова Е. О., Бондарев Н. А. Анализ развития транспортно-логистической инфраструктуры в разрезе регионов Российской Федерации // Экономика, предпринимательство и право. – 2026. – Т. 16, № 3. – С. 1427–1440.

13. Шарова И. В., Галкина С. П. Управление транспортными рисками // Экономика, предпринимательство и право. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 1241–1256.