

Факторное моделирование для наращивания технологического потенциала «зеленого» развития в пищевой индустрии

Айягари Венката Субраманья Дургапраasad

Научный сотрудник, p20190031@goa.bits-pilani.ac.in

Чундру Вира Венката Сатъя Нараяна Вара Прасад

Доцент, prasad@goa.bits-pilani.ac.in

Департамент экономики и финансов, Научно-технологический научный институт Бирла (Department of Economics and Finance, Birla Institute of Technology and Science), Индия, Pilani, Goa Campus, Zuaringar, 403726, Goa, India

Аннотация

Пищевая индустрия играет ключевую роль в экономике. Высокий потенциал отрасли и ее вклад в устойчивое развитие раскрывается с помощью хорошей оснащенности передовыми производственными и управленческими технологиями. В развивающихся странах, включая Индию, данный сектор недостаточно ориентирован на наращивание такого потенциала и использование его эффектов для прогресса.

Насыщение экономики инновационным и коммуникационным многообразием придает ей повышенную сложность, нелинейность, взаимосвязанность и взаимозависимость. Подобная синергия имеет два плюса. При правильном управлении и целостном охвате

сложных систем она порождает каскад самоусиливающихся положительных процессов развития. Однако при их отсутствии возникают масштабные проблемы, препятствующие переходу на «зеленую» модель развития, которая особенно актуальна для агросектора как одного из основных загрязнителей окружающей среды и триггеров изменения климата.

В статье анализируются взаимосвязи между сложными проблемами, оцениваются их сила влияния, степень зависимости от других факторов. Выявлены «точки приложения» усилий, работа с которыми запустит самоорганизующиеся процессы, позволяющие устранить другие барьеры на пути к целям устойчивого развития.

Ключевые слова: экономика сложности; взаимозависимости; инновационные технологии; пищевая промышленность; вызовы для устойчивого развития; интерпретативное структурное моделирование; МСМАС-анализ; Индия

Цитирование: Durgaprasad A.V.S., Prasad C.V.V.S.N.V. (2023) Modeling Challenges for Building Technological Capacities to Achieve Sustainability in the Food Industry. *Foresight and STI Governance*, 17(3), 45–55. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.3.45.55

Modeling Challenges for Building Technological Capacities to Achieve Sustainability in the Food Industry

Ayyagari Venkata Subramanya Durgaprasad

Research Scholar, p20190031@goa.bits-pilani.ac.in

Chundru Veera Venkata Satya Narayana Vara Prasad

Associate Professor, prasad@goa.bits-pilani.ac.in

Department of Economics and Finance, Birla Institute of Technology and Science, Pilani, Goa Campus, Zuarinagar, 403726, Goa, India

Abstract

The food industry plays a key role in the economy. The high potential of this field and its contribution to sustainable development is revealed by being well equipped with advanced production and management technologies. In developing countries, including India, the sector is insufficiently focused on building this capacity and harnessing its effects for progress.

The saturation of the economy with innovation and communication diversity gives it increased complexity, non-linearity, interconnectedness and interdependence. Such synergy has two poles. With proper management and holistic coverage of complex systems, it generates a cascade of

self-reinforcing positive development processes. However, in their absence, there are large-scale problems that hinder the transition to a «green» model of development, which is especially relevant for the agricultural sector as one of the main pollutants of the environment and the triggers of climate change.

The article analyzes the relationship between the complex problems, assessing their strength of influence, the degree of dependence on other factors. It reveals the «points of application» of efforts, the work with which will launch self-organizing processes, allowing to eliminate other barriers to the goals of sustainable development.

Keywords: economic complexity; interdependencies; innovative technologies; food processing industry; challenges for sustainable development; interpretive structural modeling; MICMAC analysis; India

Citation: Durgaprasad A.V.S., Prasad C.V.V.S.N.V. (2023) Modeling Challenges for Building Technological Capacities to Achieve Sustainability in the Food Industry. *Foresight and STI Governance*, 17(3), 45–55. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.3.45.55

Переход к модели устойчивого развития (УР) приобретает особую актуальность в самых разных секторах. Однако этот процесс осложняется из-за многочисленных барьеров, характер и масштабы которых зависят от специфики той или иной отрасли. Ситуация в пищевой промышленности отличается повышенной сложностью ввиду производства большого количества отходов, включая выбросы парниковых газов (ПГ). Образуется замкнутый негативный цикл, поскольку ухудшение экологической обстановки и изменение климата снижают урожайность и качество сельскохозяйственных культур, что ставит под угрозу производство продукции и безопасность (FAO, 2019).

В Индии рассматриваемый сектор имеет огромный потенциал для развития и создания рабочих мест (Dharni, Sharma, 2015). Страна обладает значительными ресурсами и по производству многих видов продуктов занимает первое место в мире.¹ Однако недостаточное использование передовых технологий, неразвитость коммуникаций между участниками производственных цепочек и другие факторы сдерживают переход к зеленой модели развития (Gardas et al., 2017; Kumar et al., 2020; Sharma et al., 2019; Singh et al., 2021).² Ненадлежащая организация производственного процесса снижает эффективность использования продукции на 30–35%. Негативный вклад также вносят недостаточная приверженность принципам УР, колоссальные масштабы потребления ресурсов и образования твердых отходов (Parwez, 2016; Lahane et al., 2020; Siddh et al., 2021).

Изменить ситуацию можно углубленным анализом вызовов для УР и их оценкой в отраслевом и страновом контекстах. Проблемы агропрома изучались многими исследователями, однако попытки их классификации и ранжирования по приоритетам пока немногочисленны³. Недостаточное внимание уделялось и барьерам для УР в контексте развивающихся стран (Balaji, Arshinder, 2016; Kurniawati et al., 2022).

Цель нашей статьи — проанализировать факторы, затрудняющие достижение целей УР индийской пищевой промышленностью, и взаимосвязи между ними. Проводится их ранжирование с помощью матриц перекрестного воздействия (*Matrices d'Impacts Croises Multiplication Appliqué a un Classement*, MICMAC). Полученные результаты внесут вклад в тематическую литературу, помогут участникам продовольственного сектора определить приоритетность и структурировать проблемы в области УР.

Вызовы для устойчивого развития

Современные экономические системы отличаются повышенной сложностью, плотной взаимозависимостью элементов, неравномерным распределением ресурсов и возможностей. Благодаря сложному и уникальному стечению факторов (благоприятные условия для развития человеческого капитала и др.) развитые страны получают больше отдачи от своих ресурсов, предлагая широкий спектр продуктов, производимых с использованием возникающих технологий (Balland et al., 2022). Между связанными элементами наблюдаются нарастающие эффекты взаимодействия (положительные циклы обратной связи). Таким образом, чем сильнее влияние одной проблемы, тем хуже ситуация с другой, либо, при благоприятных обстоятельствах, имеет место позитивная синергия, способствующая экономическому росту. Данные закономерности наглядно иллюстрируются процессами, происходящими в пищевой промышленности развивающихся стран.

Важное наблюдение, имеющее прямое отношение к проблеме, поднятой в нашей статье, заключается в том, что экономика развитых стран, имеющих возможность задействовать больше передовых технологий, как правило, характеризуется пониженной интенсивностью выбросов ПГ (Romero, Gramkov, 2021). Подобный эффект объясняется расширенным потенциалом высокодиверсифицированных экономик в производстве более качественных и экологичных продуктов. Эти выводы подтверждаются исследованиями на выборках из более чем 80 стран за два последних десятилетия (Boletti et al., 2021; Neagu, 2019).

В ходе анализа литературы выявлено 11 ключевых взаимосвязанных барьеров для достижения целей УР индийским пищевым сектором (табл. 1). Рассмотрим их подробнее.

Из-за отсутствия соответствующих технологий по всей производственной цепочке пищевая продукция быстро теряет свои потребительские свойства (Maruchek et al., 2011), что ведет к увеличению ее дефицита и, следовательно, к рискам для продовольственной безопасности. Необходимость наращивать затраты на утилизацию отходов существенно и негативно влияет на доходность компаний (Trivedi et al., 2019; Akkerman et al., 2010). Ситуация усугубляется при неоптимальной инфраструктуре поставок (неразвитость дорожных сетей и др.) (Aggarwal, Srivastava, 2016; Kumar et al., 2020).

¹ Индия является крупнейшим производителем молока, чая, специй, орехов кешью, бобовых и сахарного тростника и занимает второе место по производству фруктов и овощей, пшеницы и риса. В настоящее время здесь задействовано около 1.77 млн чел. К 2025–2026 гг. объем внутреннего рынка пищевого сектора может достичь 535 млрд долл. (IBEF, 2022). Для сравнения: крупнейшая в Азии пищевая промышленность — китайская: ее годовая прибыль составляет 1.319 млрд долл. (<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/china>, дата обращения 11.06.2023.). По другим азиатским странам данный показатель составляет: в Японии — 651 млрд долл. (<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/japan>, дата обращения 11.06.2023), России — 104 млрд долл. (<https://www.trade.gov/country-commercial-guides/russia-agribusiness>, дата обращения 11.06.2023), Южной Кореи — 99.09 млрд долл. (<https://www.statista.com/statistics/780672/south-korea-processed-food-market-size/>, дата обращения 11.06.2023), Малайзии — 49.51 млрд долл. (<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/malaysia/>, дата обращения 11.06.2023).

² Аналогичные проблемы наблюдаются и в других азиатских странах (Khan et al., 2022). В Китае из-за отсутствия необходимых объектов инфраструктуры в ходе производства, переработки и транспортировки пищевых продуктов ежегодно теряется около 35 млн т продовольствия (Faroque et al., 2019).

³ Для оценки ситуации с рассматриваемым сектором в Индии рекомендовано применение интерпретативного структурного моделирования (*interpretive structural modelling*, ISM) (Gardas et al., 2018).

Табл. 1. Проблемы, препятствующие достижению устойчивого развития

Проблема	Литература
C1. Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	(Jose, Shanmugam, 2020; Kumar et al., 2020; Routroy, Behera, 2017)
C2. Неоптимальная инфраструктура поставок	(Aggarwal, Srivastava, 2016; Gardas et al., 2018; Kumar et al., 2020; Kumar et al., 2021)
C3. Потери продуктов питания	(Kumar et al., 2020; Parwez, 2016; Routroy, Behera, 2017)
C4. Ненадлежащая упаковка	(Aggarwal, Srivastava, 2016; Parwez, 2016; Routroy, Behera 2017)
C5. Недостаточное использование передовых технологий	(Kumar et al., 2021; Naik, Suresh, 2018; Routroy, Behera, 2017; Yadav et al., 2020; Zhu et al., 2018)
C6. Низкий уровень СЦП	(Lahane et al., 2020; Parwez, 2016; Yadav et al., 2020)
C7. Неэффективное управление спросом	(Kumar et al., 2020; Raut, Gardas, 2018)
C8. Выбросы ПП	(Ghadge et al., 2021; Jose, Shanmugam, 2020; Zhu et al., 2018)
C9. Недостаточно активное следование принципам УР	(Lahane et al., 2020; Pullman et al., 2009; Siddh et al., 2021)
C10. Неэффективная государственная политика	(Kumar et al., 2021; Parwez, 2016; Prakash, 2018; Sharma et al., 2019; Yadav et al., 2020)
C11. Дефицит рыночных связей	(Gardas et al., 2017; Lahane et al., 2020; Naik, Suresh, 2018)

Источник: составлено авторами.

Потери продуктов питания, прежде всего, в ходе транспортировки и доставки, а также из-за неоптимального выбора упаковки приводят к увеличению выбросов ПП, что отрицательно сказывается на качестве окружающей среды и климатических изменениях (Shukla, Jharkaria, 2013; Kumar et al., 2020). Следующим значимым барьером является неготовность компаний осваивать новые технологии (Shukla, Jharkaria, 2013; Siddh et al., 2017), несмотря на неизбежность перехода на прогрессивные модели развития из-за растущего внимания общественности к вопросам УР и обеспечения высокого качества продуктов. Например, использование таких технологий, как блокчейн, позволяет наладить четкую координацию сложных и слабоструктурированных цепочек поставок, удешевить производственный процесс, минимизировать связанные с ним экологические риски (Yadav et al., 2020; Gupta et al., 2019).

К другим барьерам для перехода развивающихся стран к УР относятся также сложность выхода на рынки, недостаточное количество каналов сбыта и отсутствие организованных цепочек поставок (Negi, Anand, 2015; Parwez, 2016). Низкий уровень сотрудничества в цепочке поставок (СЦП) между участниками индийского рынка в сегменте фруктов и овощей приводит к ежегодным потерям продукции на сумму примерно 6,7

Табл. 2. Профили экспертов

№	Опыт работы (лет)	Должность
<i>Предприятия пищевой промышленности</i>		
1	8	Операционный менеджер
2	15	Управляющий директор
3	7	Младший менеджер
4	8	Менеджер по поставкам
5	9	Старший менеджер
6	13	Начальник отдела снабжения
<i>Академические учреждения</i>		
7	11	Старший преподаватель
8	12	Старший преподаватель
9	15	Профессор

Источник: составлено авторами.

млрд долл. Прямые связи между производителями продукции и перерабатывающими предприятиями встречаются редко, а цепочки для ее реализации слишком избыточны ввиду вовлеченности многочисленных посредников. Эффективное управление спросом и запасами с помощью современных инструментов за счет налаживания обмена данными в режиме реального времени позволило бы радикально улучшить всю производственную цепочку (Balaji, Arshinder, 2016; Aggarwal, Srivastava, 2016) и, как следствие, избежать, с одной стороны, затоваривания складов, а с другой — перебоев с поставками (Raut, Gardas 2018; Balaji, Arshinder, 2016; Mena et al., 2014). Слабая приверженность принципам УР в развивающихся странах объясняется тем, что компании в основном ориентированы на быстрое извлечение прибыли. В то время как следование зеленой модели подразумевает получение отдачи лишь в долгосрочной перспективе, которой предшествуют существенные затраты на ресурсное переоснащение (Ghadge et al., 2021; Pullman et al., 2009; Siddh et al., 2021).

Наконец, ключевым фактором сдерживания устойчивого развития выступает неэффективная государственная политика. Без ее совершенствования невозможно решить вопросы инфраструктурной модернизации, надлежащего технологического и финансового обеспечения и снижения остроты экологических проблем (Singh et al., 2021; Kumar et al., 2020; Sharma et al., 2019).

Методология

Для выполнения задач настоящего исследования использовалась методология ISM-MICMAC. На первом этапе в результате анализа литературы выявлены 13 масштабных проблем⁴. Они стали предметом дискуссии между приглашенными экспертами, которые оценили актуальность выявленных вызовов для Индии и установили взаимосвязи между ними (профили экс-

⁴ При поиске использовались такие ключевые слова, как «вызовы» (*challenges*), «проблемы» (*issues*), «барьеры» (*barriers*), «переработка пищевых продуктов» (*food processing*), «агропродовольственный» (*agri-food*), «цепочка поставок продуктов питания» (*food supply chain*) и «устойчивое развитие» (*sustainability*).

Табл. 3. Матрица SSIM

№	Проблема	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1	A	V	A	A	A	A	V	A	A	A
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок		1	V	V	O	A	O	V	A	A	X
C3	Потери продуктов питания			1	A	O	A	A	V	A	A	A
C4	Ненадлежащая упаковка				1	A	A	O	V	A	A	A
C5	Недостаточное использование передовых технологий					1	A	V	V	A	A	A
C6	Низкий уровень СЦП						1	V	V	A	A	A
C7	Неэффективное управление спросом							1	V	A	A	A
C8	Выбросы ПГ								1	A	A	A
C9	Недостаточно активное следование принципам УР									1	A	O
C10	Неэффективная государственная политика										1	V
C11	Дефицит рыночных связей											1

Условные обозначения:
V — решение проблемы i способствует решению проблемы j; A — решение проблемы j способствует решению проблемы i; X — проблемы i и j дополняют друг друга; O — проблемы i и j не связаны друг с другом.
Источник: составлено авторами.

пертов представлены в табл. 2). По итогам обсуждения список рассматриваемых проблем был оптимизирован — количество сокращено до 11.

ISM-анализ

Метод ISM активно используется в междисциплинарных областях, включая исследования УР. Он позволяет преобразовывать концептуальные схемы в четкие и подробные модели систем, чтобы выявить взаимосвязи между интересующими исследователя переменными (Attri et al., 2013). Создается иерархия характеристик той или иной проблемы, в данном случае перехода рассматриваемой индустрии к УР (Bhadani et al., 2016). Этапы ISM-анализа представлены в боксе 1.

МІСМАС-анализ

Метод МІСМАС позволяет классифицировать выявленные системные проблемы по четырем группам (Sharma et al., 1995; Bhadani et al., 2016). Строится график, визуализирующий зависимость и силу влияния в диапазоне от 0 до общего количества факторов. Значения распределяются по четырем квадрантам на горизонтальной и вертикальной осях, разветвляющихся в средних точках. В комбинации с ISM МІСМАС эффективно визуализирует проблемы и связи между ними (Ahmad, Qahmash, 2021). Такой подход оказывается более результативным, чем использование других мультикритериальных методов поддержки принятия решений. Для экспертов открываются новые возможности в установлении связей между переменными, их ранжировании и правильной интерпрета-

Табл. 4. Матрица IRM

№	Проблема	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
C3	Потери продуктов питания	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
C4	Ненадлежащая упаковка	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
C5	Недостаточное использование передовых технологий	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
C6	Низкий уровень СЦП	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
C7	Неэффективное управление спросом	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
C8	Выбросы ПГ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
C10	Неэффективная государственная политика	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C11	Дефицит рыночных связей	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

Примечания:
V — ячейка (i, j) принимает значение 1, а ячейка (j, i) — равно 0; A — ячейке (i, j) присваивается величина 0, а ячейка (j, i) — 1; X — ячейки (i, j) и (j, i) принимают значение 1; O — ячейки (i, j) и (j, i) принимают значение 0.
Источник: составлено авторами.

Табл. 5. Матрица FRM

№	Проблема	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Сила влияния
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	1	1	1	1	1*	1*	1*	1	0	0	1	9
C3	Потери продуктов питания	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
C4	Ненадлежащая упаковка	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	1	0	1*	1	1	0	1	1	0	0	0	6
C6	Низкий уровень СЦП	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1*	9
C7	Неэффективное управление спросом	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	4
C8	Выбросы ПГ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
C9	Недостаточно активная позиция руководства в отношении устойчивого развития	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1*	10
C10	Неэффективная государственная политика	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
C11	Отсутствие рыночных связей	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	9
	Взаимозависимость	9	5	10	7	6	5	7	11	2	1	5	

Источник: составлено авторами.

ции сложных вызовов (Mangla et al., 2018; Soni et al., 2020). Тем самым обосновывается применимость метода ISM-MICMAC для настоящего исследования.

Результаты

Матрицы SSIM, IRM и FRM

Матрица SSIM состояла из 11 факторов, указанных в табл. 1. Взаимосвязь между ними обозначена терминами V, A, X и O (табл. 3). Матрица IRM, построенная путем преобразования SSIM, представлена в табл. 4. IRM конвертировалась в FRM путем транзитивности. В настоящем исследовании CH6–CH5 присвоено значение 1, что указывает на их взаимосвязь. CH6 связана с CH3, в отличие от CH5. После применения концепции транзитивности значение ячейки CH5–CH3 в FRM меняется с 0 на 1*. Остальные проблемы также проверялись на транзитивность. FRM приведена в табл. 5.

Разделение на уровни

Для формирования уровней FRM была разделена на три зоны — влияния, предшествования и пересечения. Пер-

вую составляют проблемы, острота которых зависит от других факторов. Они, в свою очередь, относятся к категории «предшествующих». Если какая-либо из проблем присутствует в обеих упомянутых сферах, она автоматически попадает в область пересечения. При совпадении сегментов влияния и пересечения формируется уровень, после чего такие факторы исключаются из групп «влияния» и «предшествования». Ранжирование вызовов проходило в несколько итераций (см. табл. 6 и Приложение).

ISM-MICMAC анализ

Для иллюстрации взаимосвязи проблем на основе матрицы FRM сформирован ориентированный граф (орграф) (рис. 1). После очистки от связей транзитивности

Табл. 6. Уровни проблем		
№	Проблема	Уровень
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	3
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	6
C3	Потери продуктов питания	2
C4	Ненадлежащая упаковка	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	5
C6	Низкий уровень СЦП	6
C7	Неэффективное управление спросом	4
C8	Выбросы ПГ	1
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	7
C10	Неэффективная государственная политика	8
C11	Дефицит рыночных связей	6

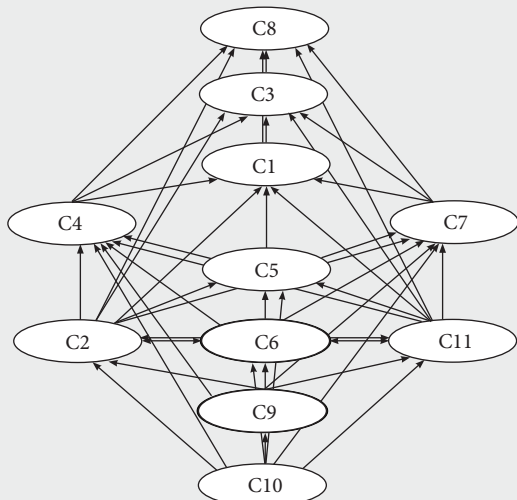
Источник: составлено авторами.

Бокс 1. Этапы ISM-анализа

- С помощью первичного или вторичного анализа являются переменные, связанные с изучаемой проблемой.
- На основе экспертных мнений строится матрица структурного взаимодействия (structural self-interaction matrix, SSIM), иллюстрирующая взаимосвязь переменных в терминах кодов V, A, X и O (их расшифровки представлены в табл. 3–5).
- Конструируется исходная матрица достижимости (initial reachability matrix, IRM) путем преобразования SSIM из V, A, X и O в 0.1.
- Создается итоговая матрица достижимости (final reachability matrix, FRM) путем проверки транзитивности в IRM. Применительно к ISM транзитивность означает, что если имеются связи между переменными C1–C2 и C2–C3, то C1 и C3 также связаны.
- FRM разбивается на уровни.
- Строится оргграф.
- Формируется модель ISM путем замены узлов оргграфа на используемые в исследовании переменные. Таким образом, создается иерархическая модель приоритетов.
- Полученная модель проверяется на наличие концептуальных несоответствий.

Источник: составлено авторами.

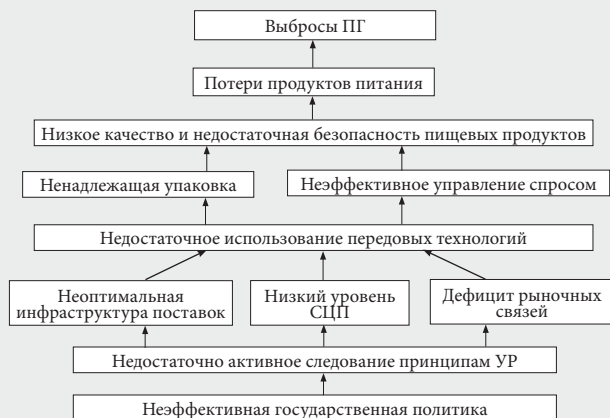
Рис. 1. Орграф связей между барьерами для устойчивого развития индийского пищевого сектора



Источник: составлено авторами.

он был преобразован в модель ISM, отражающую приоритетность проблем (рис. 2). Критичными в ISM являются факторы нижнего уровня, поскольку их влияние на аспекты верхних уровней иерархии признано максимальным. Таким образом, для индийского пищевого сектора ключевым вызовом выступает неэффективная политика (нижний, восьмой уровень), так как от ее решения зависит острота влияния факторов, расположенных на более высоких позициях. Соответственно, масштабы выбросов ПГ, оказавшихся на вершине иерархии, обусловлены остальными драйверами. Подходы государства влияют на позиции компаний, что способствует развитию СЦП, инфраструктуры цепочки поставок и рыночных связей. В свою очередь, СЦП стимулирует более активное использование компаниями передовых технологий, что улучшает управление спросом и модернизирует упаковочные процессы. В совокупности это

Рис. 2. Модель ISM



Источник: составлено авторами.

повышает качество пищевых продуктов, снижает их потери и объемы выбросов ПГ.

По результатам МСМАС-анализа на основе зависимости и силы влияния рассматриваемые факторы разделены по четырем кластерам-квадрантам (рис. 3, табл. 7).

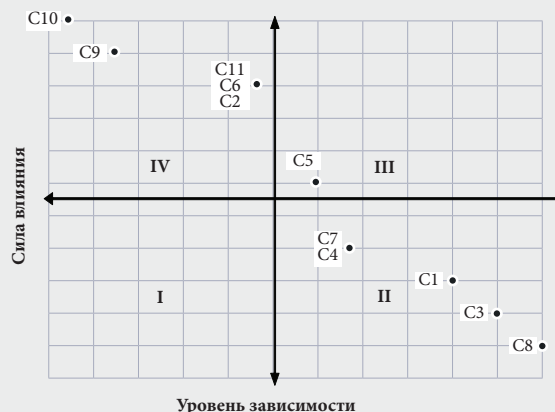
Заключение

В ходе настоящего исследования выявлена и проанализирована взаимосвязь между препятствиями для перехода индийских компаний пищевой промышленности на модель УР. Обозначены 11 таких факторов. С помощью метода ISM разработана модель для их приоритизации. Посредством МСМАС-анализа рассматриваемые вызовы были классифицированы по силе влияния на другие аспекты либо зависимости от них. Полученные результаты помогут лицам, принимающим решения, преодолеть барьеры на пути к достижению целей УР.

Выявлены восемь уровней проблем, из которых основополагающими признаны неэффективная государственная политика и слабая активность предпринимателей в отношении УР (восьмой и седьмой уровни соответственно; см. рис. 2). Этим аспектам должно уделяться первоочередное внимание, поскольку от работы с ними зависит результативность в преодолении других барьеров. МСМАС-анализ показал, что низкое качество, недостаточная безопасность и потери продуктов питания, неоптимальная упаковка, выбросы ПГ и неэффективное управление спросом носят скорее «подчиненный» характер. Они находятся под влиянием ряда факторов, включая неэффективную государственную политику, недостаточную приверженность бизнеса принципам УР, отсутствие рыночных связей, низкий уровень СЦП и неразвитую инфраструктуру цепочки поставок. От преодоления этих деструктивных сил зависит эффективность ответа на другие вызовы.

Полученные выводы согласуются с результатами предшествующих исследований, показавших, что главными проблемами пищевой промышленности являются низкий уровень СЦП, неразвитая инфраструктура цепочки поставок, неэффективная государственная политика, сохраняющаяся опора на устарев-

Рис. 3. Матрица влияния–зависимости



Источник: составлено авторами.

Табл. 7. Распределение проблем по типам

Квадрант	Соотношение влияния / зависимости	Характер проблем	Проблемы
I – автономные проблемы	Слабое / слабая	Не меняются под влиянием других факторов и сами не влияют на другие проблемы	—
II – зависимые проблемы	Слабое / сильная	Сильно зависят от других рассматриваемых в исследовании проблем	<ul style="list-style-type: none"> • Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов • Потери продуктов питания • Ненадлежащая упаковка • Выбросы ПП • Неэффективное управление спросом
III – проблемы связи	Сильное / сильная	Эволюционируют под влиянием других факторов и сами воздействуют на них	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточное использование передовых технологий
IV – независимые проблемы	Сильное / слабая	Этим вызовам следует уделять больше внимания, поскольку ответ на них способствует решению и других проблем	<ul style="list-style-type: none"> • Неэффективная государственная политика • Недостаточно активное следование принципам УР • Дефицит рыночных связей • Низкий уровень СЦП • Неоптимальная инфраструктура поставок

Источник: составлено авторами.

шие технологии, потери продуктов питания (Sharma et al., 2019). Наши наблюдения также перекликаются с исследованием китайских цепочек поставок продуктов питания, авторы которого выявили такие барьеры на пути к УР, как ненадлежащая технологическая оснащенность, низкое качество управления и экологические нормы, неразвитые кооперационные связи (Farooque et al., 2019). Можно заключить, что аспекты, оказавшиеся в нижней части модели ISM, являются источником других проблем.

Уровень приверженности зеленой модели в значительной степени определяется государственной политикой. Муниципальные органы власти должны разделять ответственность с федеральными: стимулировать рыночные связи по всей цепочке поставок пищевой промышленности, расширять рынки, инвестировать в инфраструктуру, формировать культуру соблюдения принципов УР.

Компаниям следует в первую очередь обратить внимание на такие аспекты, как разделение ценностей УР, ускоренное внедрение новейших технологий, развитие кооперации, оптимизация управления спросом. Инновационные решения становятся определяющим фактором удовлетворения общественных потребностей, поскольку ускоряют развитие всей глобальной цепочки стоимости пищевой промышленности, повышая потребительскую ценность на каждом этапе (Katalevsky, 2022). Государственная политика, нацеленная на стимулирование использования низкоуглеродных технологий, может ускорить переход к более экологичным продуктам питания (Herrego et al., 2020).

Библиография

- Aggarwal S., Srivastava M.K. (2016) Towards a grounded view of collaboration in Indian agri-food supply chains: A qualitative investigation. *British Food Journal*, 118(5), 1085–1106. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2015-0274>
- Ahmad N., Qahmash A. (2021) SmartISM: Implementation and Assessment of Interpretive Structural Modeling. *Sustainability*, 13(16), 8801. <https://doi.org/10.3390/su13168801>
- Akkerman R., Farahani P., Grunow M. (2010) Quality, safety, and sustainability in food distribution: A review of quantitative operations management approaches and challenges. *OR Spectrum*, 32(4), 863–904. <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0223-2>

- Attri R., Dev N., Sharma V. (2013) Interpretive structural modelling (ISM) approach: An overview, *Research Journal of Management Sciences*, 2(2), 3–8.
- Balaji M., Arshinder K. (2016) Modeling the causes of food wastage in Indian perishable food supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 114, 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.016>
- Balland P.A., Broekel T., Diodato D., Giuliani E., Hausmann R., O'Clery N., Rigby D. (2022) The new paradigm of economic complexity. *Research Policy*, 51(3), 104450. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104450>
- Bhadani A.K., Shankar R., Rao D.V. (2016) Modeling the barriers of service adoption in rural Indian telecom using integrated ISM-ANP. *Journal of Modelling in Management*, 11(1), 2–25. <https://doi.org/10.1108/JM2-09-2013-0041>
- Boleti E., Garas A., Kyriakou A., Lapatinas A. (2021) Economic Complexity and Environmental Performance: Evidence from a World Sample. *Environmental Modelling and Assessment*, 26, 251–270. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0>
- Dharni K., Sharma R.K. (2015) Supply chain management in food processing sector: Experience from India. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 21(1), 115–132. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2015.069080>
- Do Canto N.R., Bossle M.B., Vieira L.M., De Barcellos M.D. (2021) Supply chain collaboration for sustainability: A qualitative investigation of food supply chains in Brazil. *Management of Environmental Quality*, 32(6), 1210–1232. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0275>
- FAO (2019) *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farooque M., Zhang A., Liu Y. (2019) Barriers to circular food supply chains in China. *Supply Chain Management*, 24(5), 677–696. <https://doi.org/10.1108/scm-10-2018-0345>
- Gardas B.B., Raut R.D., Narkhede B. (2017) Modeling causal factors of post-harvesting losses in vegetable and fruit supply chain: An Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1355–1371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.259>
- Gardas B.B., Raut R.D., Narkhede B. (2018) Evaluating critical causal factors for post-harvest losses (PHL) in the fruit and vegetables supply chain in India using the DEMATEL approach. *Journal of Cleaner Production*, 199, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.153>
- Ghadge A., Er Kara M., Mogale D.G., Choudhary S., Dani S. (2021) Sustainability implementation challenges in food supply chains: A case of UK artisan cheese producers. *Production Planning & Control*, 32(14), 1191–1206. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1796140>
- Gupta P.K., Balyan H.S., Gahlaut V., Saripalli G., Pal B., Basnet B.R., Joshi A.K. (2019) Hybrid wheat: Past, present and future. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(9), 2463–2483. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03397-y>
- Herrero M., Thornton P.K., Mason-D'Croz D., Palmer J., Benton T.G., Bodirsky B.L., Bogard J.R., Hall A., Lee B., Nyborg K., Pradhan P., Bonnett G.D., Bryan B.A., Campbell B.M., Christensen S., Clark M., Cook M.T., de Boer I.J.M., Downs C., Dizyee K., Folberth C., Godde C.M., Gerber J.S., Grundy M., Havlik P., Jarvis A., King R., Loboguerrero A.M., Lopes M.A., McIntyre C.L., Naylor R., Navarro J., Obersteiner M., Parodi A., Peoples M.B., Pikaar I., Popp A., Rockström J., Robertson M.J., Smith P., Stehfest E., Steve M. Swain S.M., Valin H., Van Wijk M., Van Zanten H.H.E., Vermeulen S., Vervoort J., West P.C. (2020) Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. *Nature Food*, 1(5), 266–272. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0074-1>
- IBEF (2022) *Agriculture and Allied Industry Report*, New Delhi: India Brand Equity Foundation.
- Jose A., Shanmugam P.V. (2020) Supply chain issues in SME food sector: A systematic review. *Journal of Advances in Management Research*, 17(1), 19–65. <https://doi.org/10.1108/JAMR-02-2019-0010>
- Katalevsky D.Y. (2022) Increasing returns in the agrochemical industry: Are there limits to growth? *Problems of Theory and Practice of Management*, 5–6, 158–181.
- Khan S.A.R., Razzqa A., Yu Z., Shah A., Sharif A., Janjua L. (2022) Disruption in food supply chain and undernourishment challenges: An empirical study in the context of Asian countries. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, 101033. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101033>
- Kumar A., Mangla S.K., Kumar P., Karamperidis S. (2020) Challenges in perishable food supply chains for sustainability management: A developing economy perspective. *Business Strategy and the Environment*, 29(5), 1809–1831. <https://doi.org/10.1002/bse.2470>
- Kumar S., Raut R.D., Nayal K., Kraus S., Yadav V.S., Narkhede B.E. (2021) To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126023>
- Kurniawati E., Kohar U.H.A., Pirzada K. (2022) Change or Destroy: The Digital Transformation of Indonesian MSMEs to Achieve Sustainable Economy. *Polish Journal of Management Studies*, 26(2), 248–264. <https://doi.org/10.17512/pjms.2022.26.2.15>
- Lahane S., Kant R., Shankar R. (2020) Circular supply chain management: A state-of-art review and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120859>
- Mangla S.K., Luthra S., Rich N., Kumar D., Rana N.P., Dwivedi Y.K. (2018) Enablers to implement sustainable initiatives in agri-food supply chains. *International Journal of Production Economics*, 203, 379–393. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.012>
- Maruchek A.S., Greis N., Mena C., Cai L. (2011) Product safety and security in the global supply chain: issues, challenges and research opportunities – editorial essay. *Journal of Operations Management*, 29(7–8), 707–720. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2011.06.007>
- Mena C., Terry L.A., Williams A., Ellram L. (2014) Causes of waste across multi-tier supply networks: Cases in the UK food sector. *International Journal of Production Economics*, 152, 144–158. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.03.012>
- Naik G., Suresh D.N. (2018) Challenges of creating sustainable agri-retail supply chains. *IIMB Management Review*, 30(3), 270–282. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.04.001>
- Neagu O. (2019) The Link between Economic Complexity and Carbon Emissions in the European Union Countries: A Model Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) Approach. *Sustainability*, 11(17), 4753. <https://doi.org/10.3390/su11174753>
- Negi S., Anand N. (2015) Issues and Challenges in the Supply Chain of Fruits & Vegetables Sector in India: A Review. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 6(2), 47–62. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2015.6205>
- Parwez S. (2016) A conceptual model for integration of Indian food supply chains. *Global Business Review*, 17(4), 834–850. <https://doi.org/10.1177/0972150916645681>
- Prakash G. (2018) Review of the food processing supply chain literature: A UK, India bilateral context. *Journal of Advances in Management Research*, 15(4), 457–479. <https://doi.org/10.1108/JAMR-12-2017-0116>
- Pullman M.E., Maloni M.J., Carter C.R. (2009) Food for thought: Social versus environmental sustainability practices and performance outcomes. *Journal of Supply Chain Management*, 45, 38–54. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03175.x>
- Rais M., Sheoran A. (2015) Scope of Supply Chain Management in Fruits and Vegetables in India. *Journal of Food Processing & Technology*, 6, 429. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000427>
- Raut R., Gardas B.B. (2018) Sustainable logistics barriers of fruits and vegetables. *Benchmarking: An International Journal*, 25(8), 2589–2610. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2017-0166>
- Romero J.P., Gramkow C. (2021) Economic complexity and greenhouse gas emissions. *World Development*, 139, 105317. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>
- Routroy S., Behera A. (2017) Agriculture supply chain: A systematic review of literature and implications for future research. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 7(3), 275–302. <https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2016-0039>
- Sharma H.D., Gupta A.D., Sushil S. (1995) The objectives of waste management in India: A futures inquiry. *Technological Forecasting and Social Change*, 48(3), 285–309. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(94\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0040-1625(94)00066-6)
- Sharma Y.K., Mangla S.K., Patil P.P., Liu S. (2019) When challenges impede the process: For circular economy-driven sustainability practices in food supply chain. *Management Decision*, 57(4), 995–1017. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1056>
- Shukla M., Jharkharia S. (2013) Agri-fresh produce supply chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Operations and Production Management*, 33(2), 114–158. <https://doi.org/10.1108/01443571311295608>

Siddh M.M., Kumar S., Soni G., Jain V., Chandra C., Jain R., Sharma M.K., Kazancoglu Y. (2021) Impact of agri-fresh food supply chain quality practices on organizational sustainability, *Operations Management Research*, 14, 378. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00219-7>

Siddh M.M., Soni G., Jain R., Sharma M.K., Yadav V. (2017) Agri-fresh food supply chain quality (AFSCQ): A literature review. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9), 2015–2044. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2016-0427>

Singh G., Daultani Y., Sahu R. (2021) Investigating the barriers to growth in the Indian food processing sector. *OPSEARCH*, 59, 441–459. <https://doi.org/10.1007/s12597-021-00553-1>

Soni G., Prakash S., Kumar H., Singh S.P., Jain V., Dhama S.S. (2020) An interpretive structural modeling of drivers and barriers of sustainable supply chain management: A case of stone industry. *Management of Environmental Quality*, 31(5), 1071–1090. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2019-0202>

Trivedi S., Negi S., Anand N. (2019) Role of food safety and quality in Indian food supply chain. *International Journal of Logistics Economics and Globalisation*, 8(1), 25–45. <https://doi.org/10.1504/IJLEG.2019.100208>

Yadav S., Garg D., Luthra S. (2020) Analyzing challenges for internet of things adoption in agriculture supply chain management. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 36(1), 73–97. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2020.109121>

Zhu Z., Chu F., Dolgui A., Chu C., Zhou W., Piramuthu S. (2018) Recent advances and opportunities in sustainable food supply chain: A model-oriented review. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5700–5722. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1425014>

Приложение 1. Итерации распределения проблем по уровням

№	Проблема	Зона влияния	Предшествующая зона	Зона пересечения
Уровень 1				
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1, 3, 8	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	1
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C3	Потери продуктов питания	3, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	3
C4	Ненадлежащая упаковка	1, 3, 4, 8	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	1, 3, 4, 5, 7, 8	2, 5, 6, 9, 10, 11	5
C6	Низкий уровень СЦП	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C7	Неэффективное управление спросом	1, 3, 7, 8	2, 5, 6, 7, 9, 10, 11	7
C8	Выбросы ПГ	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	8
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 2				
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1, 3	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	1
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C3	Потери продуктов питания	3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	3
C4	Ненадлежащая упаковка	1, 3, 4	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	1, 3, 4, 5, 7	2, 5, 6, 9, 10, 11	5
C6	Низкий уровень СЦП	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C7	Неэффективное управление спросом	1, 3, 7	2, 5, 6, 7, 9, 10, 11	7
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 3				
C1	Низкое качество и недостаточная безопасность пищевых продуктов	1	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	1
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	1, 2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C4	Ненадлежащая упаковка	1, 4	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	1, 4, 5, 7	2, 5, 6, 9, 10, 11	5
C6	Низкий уровень СЦП	1, 2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C7	Неэффективное управление спросом	1, 7	2, 5, 6, 7, 9, 10, 11	7

C9	Недостаточно активное следование принципам УР	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	1, 2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 4				
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C4	Неадекватная упаковка	4	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11	4
C5	Недостаточное использование передовых технологий	4, 5, 7	2, 5, 6, 9, 10, 11	5
C6	Низкий уровень СЦП	2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C7	Неэффективное управление спросом	7	2, 5, 6, 7, 9, 10, 11	7
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	2, 4, 5, 6, 7, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	2, 4, 5, 6, 7, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 5				
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	2, 5, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C5	Недостаточное использование передовых технологий	5	2, 5, 6, 9, 10, 11	5
C6	Низкий уровень СЦП	2, 5, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	2, 5, 6, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	2, 5, 6, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	2, 5, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 6				
C2	Неоптимальная инфраструктура поставок	2, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C6	Низкий уровень СЦП	2, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	2, 6, 9, 11	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	2, 6, 9, 10, 11	10	10
C11	Дефицит рыночных связей	2, 6, 11	2, 6, 9, 10, 11	2, 6, 11
Уровень 7				
C9	Недостаточно активное следование принципам УР	9	9, 10	9
C10	Неэффективная государственная политика	9, 10	10	10
Уровень 8				
C10	Неэффективная государственная политика	10	10	10

Источник: составлено авторами.