

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА

Авдоткин В.П.¹, Авдоткина Ю.С.²

¹Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

²Министерство по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий

Аннотация

В анализ экономических последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) и оценке устойчивости экономические модели межотраслевого баланса (модель «затраты – выпуск», экономико-математическая балансовая модель) характеризующие межотраслевые производственные взаимосвязи в экономике страны стали играть заметную роль в анализе последствий ЧС и оценке устойчивости. Эти модели привлекают внимание к различию между прямыми экономическими потерями и каскадными эффектами, которые могут возникнуть внутри многоотраслевой экономической системы в результате ЧС. Расширение возможностей системы анализа межотраслевого баланса имеет решающее значение для адекватной оценки последствий ЧС в отраслевом и региональном разрезе. В статье представлены различные аспекты моделирования ЧС, а также оценка экономической устойчивости с использованием экономико-математических моделей межотраслевого типа.

Ключевые слова

Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, экономико-математическое моделирование, межотраслевые модели, линейное программирование, экономические балансовые модели, каскадные эффекты, экономическая устойчивость.

1. Введение

В 1925 году Леонтьев показал, что коэффициенты, выражающие связи между отраслями экономики, достаточно стабильны и их можно прогнозировать [1]. В 1930-е годы Леонтьев применил метод анализа межотраслевых связей с привлечением аппарата линейной алгебры для исследования экономики США, известен под названием «затраты – выпуск». Во время Второй мировой войны разработанная Леонтьевым матрица «затраты – выпуск» использовалась при выборе целей ВВС США и об объёмах и структуре ленд-лиза. За 1959 год ЦСУ СССР разработало первый в мире отчетный межотраслевой баланс в натуральном выражении [2]. В 1970–1980-х годах в СССР на основе данных межотраслевых балансов разрабатывались более сложные межотраслевые модели и модельные комплексы, которые использовались в прогнозных расчетах и частично входили в технологию народнохозяйственного планирования. В 70-80-е годы XX века в СССР были предприняты значительные усилия по развитию аппарата экономико-математического моделирования функционирования экономики страны применительно к военному времени. К концу 2015 г. Росстат разработал и в 2017г. впервые опубликовал детализированные базовые таблицы «затраты – выпуск» за 2011 г. [3].

Сегодня одно из ключевых направлений исследований в области анализа ЧС связано с оценкой возникающих побочных эффектов в сетевых системах и обществах [4]. Каскадные

эффекты (домино) ЧС иногда трудно прогнозировать, и они неожиданны по величине и размаху по сравнению с вызывающими их факторами. Это также относится к экономическим потерям, связанным с ЧС. В этой области количественно точная оценка косвенных потерь до сих пор остается сложной задачей, связанных с ЧС и ограниченностью данных и ограничениями, присущие используемым аналитическим инструментам.

Экономическая теория издавна проявляет интерес к оценке последствий ЧС и был определен ряд принципов для обоснованной оценки экономических потерь [6]. Различные системы анализа применяются для оценки последствий ЧС в микро-, мезо- и макроэкономическом масштабе.

Для анализа потерь от ЧС применяются три доминирующих класса экономических моделей: эконометрические модели; модели «затраты-выпуск» или балансовые модели; модели вычислимого общего равновесия (CGE) [14]. Эти модели со временем вызывают все больший интерес, поскольку в современных, сильно взаимосвязанных экономиках косвенные потери могут превосходить прямые. Имеется большой массив литературы посвящен сравнительным преимуществам и недостаткам экономических моделей анализа ЧС [5].

Балансовые модели и CGE наиболее часто используются для анализа последствий ЧС [8]. С одной стороны, балансовые модели обеспечивают линейность, а также четкий способ определения межотраслевых связей и структуры спроса, достигаемый путем наложения конкретных структурных ограничений. С другой стороны, структура CGE обеспечивает большую гибкость, как правило, за счет более детализированных допущений, необходимых для описания ЧС. При анализе ЧС балансовые модели часто рассматриваются как завышающие экономические потери, в то время как модели CGE – как недооценивающие [8]. Балансовые модели часто предпочтительнее для краткосрочной оценки, в то время как модели CGE для долгосрочной [9]. Кроме того, соображения сложности, как правило, способствуют использованию CGE в более узком наборе секторов экономики, чем в случае балансовых моделей для анализа экономических последствий ЧС [11].

В статье уделяется особое внимание балансовым моделям, которые привлекают все большее внимание как инструменты для быстрой оценки экономических последствий ЧС. Представление обратных и прямых связей, допускаемое балансовым моделям, может служить для определения ключевых секторов экономики (см. [12], глава 12). Балансовые модели имеет сходство с методологиями анализа каскадных событий из других областей, что облегчает их интеграцию. Кроме того, оперативное использования балансовых моделей связано с оценкой производственных мощностей.

Использованию балансовых моделей при анализе ЧС способствует растущая доступность баз данных балансовых моделей [14], поддержка, предоставляемая системами статистического учета, такими как система национальных счетов [15]. Перечислим некоторые важные примеры общедоступных источников данных балансовых моделей в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры источников открытых данных для таблиц «Предложение-использование» / «Затраты-выпуск»

Наименование	Источник
EORA-MRIO	http://worldmrio.com/
ЕС-Евростат	http://ec.europa.eu/eurostat/web/esa-supply-use-input-tables
EXIOBASE	http://www.exiobase.eu
JP-IDE-JETRO	http://www.ide.go.jp/English/Data/IO
ОЭСР-ICIO	http://www.oecd.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm
ОЭСР-IOTs	http://www.oecd.org/trade/input-outputtables.htm
США-BEA	https://www.bea.gov/industry/io_annual.htm
WIOD	http://www.wiod.org/home

Источник: On input-output economic models in disaster impact assessment – ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918305521#s0045>

Имеющиеся сегодня данные выходят за рамки чисто денежного учета. Примером могут служить таблицы «затраты-результат», которые представляют собой ключевые инструменты в экономическом анализе [17]. Сбор информации о ЧС и связанных с ними потерях, проводится международной базой данных о стихийных бедствиях OFDA/ CRED EM-DAT3 [18].

Международная ассоциация «затраты-выпуск» (ИОА) – научная некоммерческая членская организация, призванная способствовать развитию анализа «затраты-выпуск» в экономике и междисциплинарных областях исследований, проявляет повышенный интерес к взаимосвязи анализа последствий ЧС и методов ввода-вывода. За последние годы этой теме были специально посвящены два специальных выпуска журнала *Economic Systems Research*.

Балансовые модели сравниваются с подходами CGE-модели социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями и *Software Asset Management (SAM)* – методологией, направленной на оптимизацию процессов управления активами программного обеспечения в организации и их защиту. Признается сложность оценки последствий ЧС в долгосрочной перспективе.

Цель статьи представить обзор и некоторое обсуждение последних разработок балансовых моделей для изучения последствий ЧС для экономики, уделяя особое внимание моделированию каскадных эффектов и оценке устойчивости. Рассмотрим два основных класса балансовых моделей. Во-первых, модели с экзогенным распределением спроса и фиксированными производственными функциями, характеризующимися постоянными пропорциями затрат. Во-вторых, модели с фиксированными функциями распределения. Два этих подхода вместе с их расширениями обеспечивают систему описаний экономических последствий ЧС. Ключевым аспектом является выражение внешних воздействий в терминах спроса или предложения. Выделены дополнительные особенности анализа ЧС, включая локализацию последствий, проблемы учета краткосрочных и долгосрочных последствий, перераспределение импорта / экспорта, эффекты замещения, ограничения потенциала, адаптацию. Предложены гибридные методы для объединения подходов, ориентированных на спрос и предложение, при рассмотрении особенностей анализа последствий ЧС. Рассматривается понятие экономической устойчивости и его взаимосвязь с формализмом балансовых моделей. Таким образом все это открывает интересные исследовательские перспективы и проблемы для сообщества разработчиков балансовых моделей для оценки последствий ЧС.

2. Представление о ЧС в балансовой модели

Рассмотрим основные аспекты, связанные с представлением ЧС и вытекающих из них экономических последствий в системе балансовых моделей. Стандартная модель ввода-вывода, предложенная Леонтьевым [19], получила широкое признание как один из кардинальных вкладов в изучение много секторальной экономики и описывается в терминах статического баланса между спросом и предложением на уровне как промежуточных, так и конечных обменов.

С помощью балансовых моделей моделируется функционирование экономической системы при ЧС. Исходят из масштабов нанесенного ущерба от ЧС, его структуры и специфики. ЧС характеризуется существенным нарушением сбалансированности экономических процессов, появлением «узких мест» и диспропорций, возникновением дефицита по ресурсам; изменением целей и приоритетов в осуществлении социально-экономической деятельности; повышением роли управления и т.д. Несбалансированности спроса и предложения выражается в нарушении технологических процессов производства и потребления продукции и появлению дефицита отдельных видов продукции, появлению недоиспользованию производственных мощностей и т.д. На макроэкономическом уровне используются балансовые модели и межотраслевые модели различных типов, в т.ч. динамические (моделирующие воспроизводственные экономические процессы), развернутые натурально-стоимостные, межрегиональные, модели крупных межотраслевых комплексов и т.д.

Балансовые модели для оценки последствий ЧС позволяют: обеспечить рациональность деятельности в условиях возникающих критических экономических ситуациях; понимание будущей обстановки в экономике; рассматривать спектр возможных сценариев и вариантов развития событий в экономике; для каждого сценария и варианта экономической ситуации разработать собственный проект плана действий (или набор проектов планов) и соответствующую систему мероприятий; сформировать достоверный вариант действий при ЧС в экономике; оценить условия действий при ЧС в экономике; оценить сбалансированность плановых заданий с ожидаемыми условиями выполнения плана в будущей ситуации; оценить поддержку устойчивости экономики резервами производственных мощностей, материальных ресурсов и т.д.

Условия ЧС характеризуются совместным действием следующих трех основных факторов обеспечение жизнедеятельности населения на некотором минимально допустимом уровне, восстановления разрушенных объектов и преодоления возникающих в связи с этим диспропорций в экономической системе, поддержания системообразующих и базисных отраслей экономики. Появлению «узких мест» и диспропорций, приводит к введению новых условий функционирования экономики (во время пандемии Covid-19 в РФ было принято более 2 тыс. новых нормативных актов в экономике). Экономико-математическое моделирование позволяет приблизиться к решению указанной проблемы.

2.1. Моделирование равновесия и дисбалансов вызванных ЧС

Основной дискуссионный вопрос связан с адекватностью структуры балансовых моделей для оценки изначально неравновесных экономических условий, которые могут быть вызваны крупной ЧС. Представляющий интерес аспект касается, в частности, взаимосвязи между экономическими действиями после ЧС и экономическим ростом. В литературе была высказана критика традиционных утверждений теории роста Фон Ньютмана, которые разделяют два момента, состоящих в возвращении к равновесию после ЧС и последующем нормальном росте [21]. В частности, помимо указания на некорректность разделения в практических случаях, утверждается о потенциальном взаимодействии на этапах, предшествующих ЧС, поскольку риск будущих потрясений также может влиять на докризисные модели роста. Вероятность того, что ЧС могут оказывать незначительное макроэкономическое воздействие или вызывать положительные экономические контрэффекты, также находится в стадии теоретического и эмпирического исследования и относится к возможности того, что ЧС даже небольшого масштаба могут привести к значительным макроэкономическим последствиям. С другой стороны, после ЧС возможно ускорение научно-технологического развития после кризиса вместе с потенциальной возможностью того, что это может вызвать долгосрочный рост экономики [22]. ЧС масштабирует возможности для восстановления, которые могут возникнуть, например, в результате и наличия резервных производственных мощностей. Долгосрочные потери, возникающих в результате ЧС могут относиться к концепции созидательного разрушения [23]. В некоторых исследованиях статистически изучался вопрос правдоподобия путем анализа баз данных о ЧС, таких как EM-DAT, и соотнесения результирующих потерь с различными экономическими показателями.

2.2. Прямые / косвенные потери и потери запасов / потоков ресурсов, двойной учет потерь

В литературе мы находим различные определения прямых / косвенных потерь и потерь запасов / потоков ресурсов. Прямые потери связаны с потерями на входе в запасы, а косвенные – с потерями на выходе в потоке ресурсов, где потери на входе в запасы относятся к материальному ущербу и включают существующий уровень капитала, оборудования и товарно-материальных запасов, в то время как потери на выходе в потоке ресурсов относятся к продукции и обслуживанию запасов с течением времени. Запасы относятся к количеству в определенный момент времени, а потоки относятся к услугам или продукции запасов с течением времени. С

другой стороны, прямые потери потока ресурсов относятся к производству на предприятиях, пострадавших от самой ЧС.

С приведенными выше различиями связана проблема двойного учета потерь от ЧС [24]. Например, важность оценки косвенных затрат с точки зрения добавленной стоимости [22] предостерегает от проблемы двойного учета потерь от ЧС. Правильная интерпретация потерь запасов и потоков ресурсов должна привести к избежанию проблем двойного учета, возникающих при простом расчете общего воздействия ЧС как суммы потерь, относящихся к двум типам. Более того, потери потока ресурсов следует дополнительно разделить на компоненты, непосредственно обусловленные потерями запасов, и компоненты, вызванные их взаимосвязями.

2.3. Типы потерь от ЧС

Оценка типов потерь от ЧС, связанных с балансовыми моделями, имеет тенденцию поляризоваться вокруг двух аспектов локализации воздействия ЧС. Первый аспект, обычно связан со спросом и предложением. Второй аспект, связан с факторами, такими как время и пространство.

Изменения со стороны спроса. В соответствии с природой балансовой модели, основанной на спросе, значительная часть литературы по анализу последствий ЧС на основе балансовых моделей сосредоточена на потерях спроса. Например, в случае террористического акта изменение потребления квалифицируется как следствие соображений безопасности. Оценка последствий изменения спроса с помощью моделей, основанных на спросе, не свободна от рисков. Оценка экономических последствий спроса с помощью балансовой модели может вызвать некоторые проблемы, связанные с двойным учетом воздействия на общий объем производства и трудовой доход [20], [29].

Изменения со стороны предложения. Представление и анализ последствий с точки зрения спроса не всегда являются исчерпывающими. Сбой, вызванный ЧС, чаще всего является сбоем в производственной цепочке со стороны предложения. В контексте балансовой модели изменение предложения также следует рассматривать как изменения внутреннего спроса, чтобы должным образом оценить его распространяющиеся последствия. Изменение предложения может быть дополнительно сформулировано в терминах внутренних ограничений (например, физический ущерб, потеря запасов) и внешних ограничений (например, ограниченная доступность ресурсов для производства). Примечательно, что изменения в структуре балансовых моделей в конкретных регионах на протяжении периода после ЧС оценивались в ходе специальных эмпирических анализов [9]. Изменения, обусловленные предложением, могут позволить преодолеть предположение о том, что экономика пропорционально сокращается во всех секторах [10].

Разнонаправленные изменения. С первых дней применения балансовых моделей для анализа ЧС велся поиск методов, позволяющих объединить изменения со стороны спроса и предложения. Было проведено разделение балансовых моделей на основе процедуры раздельной генерации для секторов с ограниченным предложением. Недавно была обнаружена связь между одновременным воздействием возмущений, обусловленных спросом и предложением, и разделением оценки воздействия ЧС на краткосрочные и долгосрочные компоненты. Рассматривается возможность широкомасштабных негативных воздействий ЧС вдоль цепочек поставок, рассматривая их как вызванные обратным эффектом прямого падения спроса в данном регионе и прямым эффектом прямого сокращения предложения продукции [9].

2.4. Причинно-следственные связи и каскады в балансовой модели

Анализ прямых и обратных связей и их распространения с помощью балансовых моделей приводит к проблеме, связанной с характером воздействия, в частности с совместной стабильностью матриц балансовых моделей. В частности, в терминах балансовой модели изме-

нения отраслевого выпуска получается, как изменения спроса. Более того, два основных аспекта, представляющих интерес, связанных с анализом причинно-следственных связей, связанные с ЧС, касаются описания каскадных эффектов во времени и пространстве.

2.4.1. Временной горизонт балансовых моделей оценки экономических последствий ЧС

Применение балансовой модели для оценки потерь на разных временных горизонтах (краткосрочные и долгосрочные последствия) является спорным вопросом. Основная критика связана с невозможностью балансовой модели учитывать эффекты замещения, которые могут быть актуальны, особенно в долгосрочной перспективе, и могут вызвать проблемы с переоценкой потерь от ЧС [5]. Это также может иметь существенное значение для более точной оценки продолжительности этапа восстановления. Связанные аспекты касаются одновременности производства и синхронизации потребления.

Проблемы с временным горизонтом балансовой модели, связаны с тем, что неожиданные события часто генерируют основную часть своих воздействий в течение периодов времени, которые короче временного интервала наблюдения или решения модели [25]. В литературе также основное внимание уделяется теме временной дезагрегации процессов восстановления [25]; взаимодействию последствий ЧС и долгосрочных экономических тенденций: этот аспект принимался во внимание в ряде тематических исследований; например, отмечается, что наложение структурных экономических тенденций и последствий ЧС может привести к сложным реакциям экономики на действие ЧС; после нарушения экономического равновесия восстановительные действия могут вызвать постепенное, ускоренное продвижение к следующему устойчивому состоянию [26].

2.4.2. Пространственная локализации ЧС

Взаимосвязь пространственной локализации ЧС и географического разрешения доступных таблиц балансовой модели является сегодня одной из основных проблем экономических исследований. Это связано с ролью глобализации в определении последствий ЧС и проблемой анализа глобальных цепочек поставок. Тему следует рассматривать в более широком контексте разработки совместных региональных инструментов, поддерживающих глобальную оценку последствий ущерба от ЧС.

Дополнительные географические соображения относятся к квалификации и количественной оценке возмущений импорта / экспорта, которые могут играть двойную роль: следствие возникающей угрозы, влияющей на саму импортно-экспортную деятельность; результат изменения регионального спроса, вызывающего необходимость компенсировать дисбаланс спроса или удовлетворить потребности в восстановлении экономики после ЧС [8].

Необходима как временной, так и географической привязки сбоев в импорте / экспорте [27]. При рассмотрении межрегиональных и международных побочных эффектов с помощью балансовой модели одно из направлений современных исследований направлено на включение анализа эффектов обратной связи, наблюдаемых в межрегиональных исследованиях [28].

2.4.3. Нерыночные и поведенческие эффекты анализа последствий ЧС

Проблема, связанная с использованием балансовой модели в контексте анализа последствий ЧС, связана с наличием и значимостью нерыночных эффектов [5]. Речь идет о потерях из-за отсутствия предоставления государственных услуг, например, общественной инфраструктуры [29], ущерб не поддается рыночным методами при восстановлении. Сосредоточение внимания на потерях потока ресурсов при анализе нерыночных эффектов может быть первостепенным, поскольку потери запасов могут быть трудно поддаваться количественной оценке [30]. Немаловажная роль принадлежит определению общей экономической реакции на

ЧС. Наконец, среди наиболее важных поведенческих аспектов, которые необходимо принимать во внимание, рассматривать встроенные механизмы противодействия ЧС.

3. Использование балансовой модели для анализа последствий ЧС

За последние десятилетия был зарегистрирован огромный прогресс в методологии использования балансовых моделей для анализа последствий ЧС, так и в их эмпирическом применении. С помощью балансовых моделей был изучен ряд крупных ЧС. Обзор основных методов ввода-вывода для анализа последствий ЧС построен вокруг статических и динамических категорий (таблица 2).

Таблица 2 – Картирование литературы по вводу-выводу недавних крупных стихийных бедствий

Популярное название	Дата события	Тип события
Великое землетрясение Хансин-Авадзи (Кобе)	17 Января 1995	Землетрясение
теракты 11 сентября	11 Сентября 2001 г.	Терроризм
2003 Северо-Восточное отключение электроэнергии	14 августа 2003	Отключение электроэнергии
Волна жары в Европе в 2003 году	Июль-август 2003	Экстремальная жара
Землетрясение и цунами в Индийском океане в 2004 году	26 Декабря 2004	Землетрясение и цунами
Ураган « Катрина»	Август 2005	Тропический циклон
Землетрясение в провинции Сычуань в 2008 году	12 Мая 2008	Землетрясение
Пандемия H1N1 2009	2009–2010	Пандемия
Тайфуны «Кетсана» и « Парма»	Сентябрь-октябрь 2009	Наводнение
Землетрясение на Гаити	12 Января 2010	Землетрясение
извержения вулкана Эйфьятлайокудль в 2010 году	14–20 апреля 2010	Извержение и облако пепла
Землетрясение и цунами в Тохоку в 2011 году	11 марта 2011	Землетрясение и цунами
Ураган «Сэнди»	Октябрь-ноябрь 2012	Ураган
Наводнения в Европе 2013 года	Май-июнь 2013	Наводнение

Источник: On input-output economic models in disaster impact assessment – ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918305521#s0045>

3.1. Статические методы балансовой модели

3.1.1. Структурный анализ и теоретико-сетевые методы балансовой модели

Несмотря на ограничения с фиксированной структурой, обнаруживаемые при традиционном анализе балансовой модели, последовательные разработки, такие как наложение структурных изменений извне и усовершенствованные методы структурного анализа, помогли справиться с рядом аспектов, связанных с представлением последствий ЧС. Структурный анализ является одним из ключевых инструментов, используемых сегодня для мониторинга эффективности в производственных секторах и странах, см., например, базу данных по структурному анализу (STAN) ОЭСР. Мультипликативный анализ во многом лежит в основе балансовой модели. Исследования мультипликаторов задокументированы [12], одним из аспектов, представляющих интерес, является разбивка экономических последствий ЧС на прямые и кос-

венные. Реальность факторов, связанных со спросом и предложением, привела к исследованию как обратных, так и прямых взаимосвязей экономических секторов в балансовой модели, которые могут быть полезны при оценке результатов изменений предложения, обусловленных спросом, и предложением. Применение методов структурного анализа привело к значительным достижениям по анализу последствий ЧС. Например, смогли вовремя обнаружить ощутимые структурные изменения, вызванные ЧС и последующими восстановительными работами [13]. В области анализа ключевых секторов другим фундаментальным методом является метод гипотетического извлечения [12]. В настоящее время обсуждается роль как метода классического мультипликатора, так и метода гипотетического извлечения в оценке внутренних и внешних воздействий, при этом предлагается гибридный подход, позволяющий дезагрегировать внешние и внутренние воздействия. Среди недавних результатов, представляет интерес обобщенный гипотетический метод извлечения вместе со смешанной экзогенной / эндогенной моделью ввода-вывода в качестве альтернативы стандартному ПМ для анализа потерь путем наложения структурных изменений, определяемых ЧС.

В последние годы исследования в области балансовых моделей демонстрируют плодотворное взаимодействие с экономикой и, в частности, теорией сложных сетей. Эта связь находит общий смысл в интерпретации таблиц ввода-вывода как взвешенных направленных сетей с граничными условиями. Исследования в этой области проливают свет на связи между базовыми топологиями таблиц ввода-вывода и формирующейся производительностью, включая реакцию на ЧС. Во-первых, это влечет за собой оценку структур ввода-вывода с точки зрения системной важности, важности каждого сектора или других показателей, часто с учетом межрегиональной перспективы. Анализ ЧС включает фундаментальные взаимосвязи между сетевыми показателями и распространением воздействия ЧС, разработку моделей потерь и оценку свойств экономической стабильности. Можем наблюдать растущее внимание к перспективе вертикальной торговли и анализу вторичных эффектов в глобальных цепочках создания стоимости. Эта деятельность поддерживается появлением международных баз данных ввода-вывода, обладающих повышающимся уровнем детализации двусторонних транзакций. В этом смысле данные использовались различными способами, например, для выявления тенденций на основе декомпозиции цепочки создания стоимости, для оценки роли отраслей и стран в глобальной перспективе и для исследования конкуренции и сотрудничества. Некоторые из показателей, предложенных в данной области, могут учитывать потери от ЧС как со стороны спроса, так и со стороны предложения, например, в случае увеличения объема производства и снижения объема ввода. Сетевой анализ также применялся для того, чтобы связать вероятность побочных эффектов с существованием глобальных узловых секторов, играющих первостепенную роль в передаче воздействия ЧС.

3.1.2. Методы оптимизации балансовых моделей

Связь между анализом ввода-вывода и методами оптимизации имеет глубокие корни. Работа Джорджа Данцига по линейному программированию привела к формулировке балансовой модели, как в статической, так и в динамической версии. Это позволяет оценивать различные способы агрегирования конечных продуктов, исходя из исходных данных, на основе симплексного метода. Методы линейного и нелинейного программирования в сочетании с моделями ввода-вывода также нашли применение при анализе последствий ЧС, особенно для обеспечения определенной степени гибкости, полезной в приложениях такого типа. Предлагается формулировка нелинейного программирования, основанная на балансовой модели и включающая представление производственных узких мест. Модель оценки воздействия ЧС сочетает моделирование ввода-вывода, основанное на спросе, с линейным программированием в многорегиональной перспективе, реализует принцип минимизации ограниченных производственных затрат, который учитывает спрос, технологические ограничения и максимальные производственные мощности [8]. Ключевым преимуществом этого метода является его

способность описывать неэффективность, связанную с наличием этих ограничений, что особенно актуально для анализа последствий ЧС. Нелинейное программирование используется для описания краткосрочной реакции межрегиональной, межотраслевой экономики на воздействие ЧС, формализуя усилия по восстановлению уровней транзакций, существовавших до ЧС [9]. В связи с этим предполагается фиксированные технические коэффициенты, гибкие торговые коэффициенты, частичное замещение импорта и экспорта и минимальный прирост информации за счет эндогенных данных. Могут быть учтены как региональные производственные потрясения, так и межрегиональные торговые потрясения.

3.1.3. Модель неработоспособности ввода-вывода (ПМ)

Модель неработоспособности ввода-вывода (ПМ) преобразует критические события в изменения спроса и предполагает бесконечную эластичность предложения. ПМ привлек внимание как инструмент, полезный для совместной оценки неработоспособности (нормализованной разницы между запланированным объемом производства и фактическим объемом производства в различных секторах) и экономических потерь (следствие недостаточного объема производства), возникающих в результате ЧС. Например, с точки зрения анализа после ЧС [30] связывают представления ПМ с различными последовательными режимами после ЧС. Известные применения ПМ при анализе ЧС включают случаи терроризма, отключения электроэнергии и аварий в транспортных системах.

3.1.4. Расширенные интегрированные модели

Методика наложения ограничений на объем производства со стороны предложения для отдельных секторов экономики использует смешанную межрегиональную модель «затраты-выпуск» (MRIO) для оценки глобальных последствий нарушения цепочки поставок, вызванных ЧС.

Использованием балансовой модели предложено при построении анализа и поддержки принятия решений, которые со временем были расширены и интегрированы с другими методами оценки последствий ЧС, даже за рамками чисто статического анализа. Ярким примером является HAZUS (Hazard US), инструмент анализа множественных опасностей, предложенный Федеральным агентством по управлению в чрезвычайных ситуациях США. В качестве части портфеля предлагаемых в нем методологий оценки рисков включена оценка как прямых, так и косвенных экономических потерь. В то время как прямой компонент включает потери основного капитала и доходов, косвенные потери оцениваются с помощью балансовой модели объясняет, что метод основан на концепции перебалансировки спроса и предложения в балансовой модели, основанной на корректировках импорта и экспорта. Методика также учитывает ограничения поставок и такие факторы, как наличие запасов.

3.2. Динамические методы

3.2.1. Временная эволюция экономических сетей ввода-вывода

В ряде исследований, предложенных в последние годы, исследуется временная эволюция экономических сетей ввода-вывода посредством сравнения таблиц ввода-вывода, относящихся к разным годам. Примеры включают методы временного обратного анализа и методы, основанные на теории сетей.

Последовательная межотраслевая модель (SIM) позволяет сравнивать различия в режимах производства, в частности упреждающее и оперативное производство, а также их сочетание [25] как инструмент временного разделения для анализа воздействия ЧС в региональных экономиках.

3.2.2. Базовое уравнение, динамические неравенства

Балансовые модели открыли возможности для формулирования характеристик динамического неравновесия, например, с помощью моделей неравновесия спроса и предложения и переключения между равновесием и неравновесием.

Восстановление после ЧС представлено как двухэтапный процесс: первый этап направлен на восстановление отношений между результатами, существовавшими до ЧС, в то время как второй этап направлен на возвращение к уровням результатов, существовавшим до ЧС [21]. Цель моделирования достигается путем объединения таблицы ввода-вывода с матрицей учета событий. В основе метода лежит построение «базового уравнения», уравнения ввода-вывода, описывающего дисбалансы системы, возникшие в результате ЧС. Несбалансированное восстановление экономики посредством динамического неравенства заключается в том, чтобы выразить вклад посткризисных факторов, таких как рабочая сила, капитал и конечный спрос, в терминах ограничений, влияющих на динамику восстановления между последовательными условиями равновесия, сформулированными в терминах балансовой модели [10]. Метод может использоваться для отслеживания экономического прогресса во времени и проведения анализа чувствительности.

3.2.3. Динамическая модель неработоспособности «затраты-выпуск»

Со временем ИМ претерпел динамические расширения, в частности, за счет динамической модели неработоспособности «затраты-выпуск» (ДИМ), в которой для определения динамики неработоспособности используется матрица устойчивости. Сравнение ДИМ и динамической балансовой модели для анализа (со стороны спроса и предложения) ИМ и ДИМ и предложения альтернативного подхода, основано на принципах системной динамики. Появился ряд применений ДИМ, включая случаи терроризма, природных явлений и эпидемий.

Разработка базового ДИМ должна была включать различные особенности процессов восстановления и смягчающие факторы, такие как запасы, а также включать стратегии восстановления, основанные, например, на логике расстановки приоритетов в секторах экономики. Гибридный анализ ДИМ и дерева событий используется для определения моделей восстановления с изменяющимися во времени параметрами. Нечеткий ДИМ используется для анализа глобальных цепочек поставок. Хотя в принципе подход ДИМ основан на концепции потерь со стороны спроса, рассматривались и другие возможности. Было учтено изменяющееся во времени изменение доступности рабочей силы.

3.2.4. Адаптивная региональная модель «затраты-выпуск»

Адаптивная региональная модель «затраты-выпуск» (ARIO) разработана с целью моделирования ЧС и основана на балансовой модели [22]. В частности, методология учитывает изменения спроса и добавляет ограничения на возможности поставок, выраженных в виде производственных узких мест, и предлагает схему нормирования, определяющую приоритеты, связанные с потребностями, которые необходимо удовлетворить. Кроме того, динамика цен оценивается как функция недопроизводства, тогда как адаптационные возможности моделируются на уровнях конечного спроса, промежуточного потребления и производства. Характеристики реагирования на ЧС, в частности надежность, изучаются как функцию сетевых характеристик. В модель вводятся запасы вместе с динамикой их заполнения и расходования, узкие места в производстве и дефицит ресурсов также учитывается.

3.2.5. Расширенные интегрированные динамические балансовые модели

Тенденцией в динамическом анализе является объединение преимуществ экономического представления на основе балансовой модели с преимуществами разнородных компонентов моделирования, способных более конкретно отслеживать динамические характеристики систем, задействованных в рассматриваемых сценариях ЧС. Примеры сопоставлений с технологическими моделями (транспортная сеть и сеть электропередачи).

4. Оценка устойчивости экономических систем на основе балансовых моделей

Устойчивость экономических систем является центральной темой современных исследований в области оценки и смягчения последствий ЧС. Статическая экономическая устойчивость определяется как способность системы сохранять функциональность при ЧС, в то время как динамическая экономическая устойчивость определяется как ускорение темпов восстановления после ЧС. Более того, необходимо различать внутренние (встроенные) и адаптивные (возникающие) аспекты устойчивого экономического поведения, а также между конечными мерами устойчивости со стороны бизнеса. В свою очередь, последние можно разделить следующим образом, принимая во внимание двойную природу организаций как потребителей промежуточных товаров и поставщиков. Меры по устойчивости со стороны потребителя представляют способы эффективного использования различными отраслями имеющихся ресурсов для минимизации воздействия ЧС на их собственную деятельность, а меры со стороны поставщиков – способности организаций продолжать предоставлять услуги. В обоих случаях обсуждается ряд вариантов устойчивости: учитываются микро-, мезо- и макроэкономические уровни.

Традиционный подход к анализу воздействия ЧС, основан на балансовых моделях, в обеспечении интерпретаций экономических систем и приложений, ориентированных на устойчивость, поскольку устойчивость уделяет больше внимания гибкости и эффективному реагированию на реалии неравновесия. В последние годы предприняты значительные усилия по использованию балансовых моделей для решения различных аспектов анализа устойчивости. Балансовые модели изучаются как возможные детерминированного реагирования на воздействие ЧС и характеристики устойчивости экономики. Ключевые факторы региональной устойчивости определены во взаимосвязанности и взаимосвязанности, где первый отражает зависимость распространения ЧС от структуры ввода-вывода в регионе, в то время как два других связаны с межотраслевой и межрегиональной мобильностью рабочей силы.

Такие атрибуты, как надежность, оперативность, избыточность и изобретательность, позволяют формулировать показатели устойчивости, включая усредненный по времени уровень неработоспособности, максимальную потерю функциональности секторов экономики и время на восстановление.

Одним из таких примеров является расширенная балансовая модель, встроенная в задачу оптимизации энерго экономической устойчивости. Это относится к определению минимального уровня инвестиций в восстановление внешних ресурсов, необходимых для восстановления уровня производства в достаточной степени, чтобы общее экономическое воздействие не превышало установленного уровня в течение установленного периода после сбоя. Наконец, теория принятия решений также выиграла от использования балансового метода и наборов данных для разработки методов оценки устойчивости [31].

Выводы

В этой статье, в частности, мы рассмотрели взаимосвязь между балансовыми моделями и оценкой экономических потерь, связанных с ЧС, вызванными как природными, так и технологическими опасностями. Актуальность балансовых моделей заключается в огромном плюсе их

умеренных требований к данным и способности сочетаться с другими методами анализа, такими как технологические модели или дескрипторы поведения рынка. В этом смысле они могли бы сохранить важную роль в поддержке политики, особенно для крупномасштабного анализа последствий, и в определении экономически эффективного использования ресурсов.

Теоретические проблемы и практические тематические исследования, рассматриваемые в статье связаны с взаимодополняющими представлениями о волновых явлениях, включая как обратные, так и прямые аспекты распространения последствий ЧС. В литературе значительно расширены классические формулировки ввода-вывода, основанные на спросе и предложении, для учета динамики ЧС и реагирования на кризис. Взаимодействие с другими дисциплинами, такими как теория сложных сетей, также направлено на решение некоторых возникающих проблем, таких как крупномасштабное поведение взаимодействующих экономик и цепочек поставок. Анализ устойчивости экономических систем также предоставляет возможность для эволюционировавшего подхода к балансовым моделям предполагающих постоянный диалог с аналитическими структурами исследующих экономику природной и техногенной безопасности.

Библиография

1. Леонтьев В. (младший). Баланс народного хозяйства СССР. Методологический разбор работы ЦСУ // Плановое хозяйство: Ежемесячный журнал. – М.: Госплан СССР, 1925. – № 12. – С. 254–258.
2. Леонтьев В. В. Спад и подъём советской экономической науки // Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. – М.: Политиздат, 1990. – С. 226. – 415 с.
3. Леонтьев В. Спад и подъём советской экономической науки // Экономические эссе: Теории, исследования, факты и политика. – М.: Политиздат, 1990. – С. 218.
4. G. Pescaroli, D. Alexander Defining cascading disasters and cascading effects: moving beyond the domino toppling metaphor *Planet@ Risk*, 3 (1) (2015), pp. 58–67.
5. Rose Economic principles, issues and research priorities in estimating disaster losses Y. Okuyama, S. E. Chang (Eds.), *Modeling the spatial and economic impacts of natural disasters*, Springer (2004), pp. 13–36.
6. S. Lazzaroni, P.A. Van Bergijk Disaster impacts, resilience and development factors: a meta-analysis of the macroeconomic literature *Ecol. Economics.*, 107 (2014), pp. 333–346
7. J. Oosterhaven, J. Többen Wider economic consequences of severe flooding in Germany: a nonlinear programming approach *Spit. Economy. Anal.*, 12 (4) (2017), pp. 404–428
8. E.E. Cox, M. Thiessen A multi-regional impact assessment model for disaster analysis *Economics. Syst. Res.*, 28 (4) (2016), pp. 429–449
9. J. Oosterhaven, M.K. Bouwmeester A New Approach to Modeling the Impact of Disruptive Events *J. Reg. Sci.*, 56(4) (2016), pp. 583–595.
10. J. Li, D. Crawford-Brown, M. Siddall, D. Guan Modeling unbalanced economic recovery after a natural disaster using input-output analysis *Risk Analysis.*, 33 (10) (2013), pp. 1908–1923.
11. E. Cox, L. Carrera, O. Jonkeren, J. Aerts, T. Husby, M. Thiessen, G. Standarddi, J. Mysiak Regional analysis of natural disaster impacts: comparison of input-output and computable general equilibrium models *Nat. Earth's hazard system. Scientific Discussion*, 3 (2015), pp. 7053–7088
12. R.E. Miller, P.D. Blair *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* Cambridge University Press (2009)
13. Y. Okuyama Natural disaster and structural changes in the economy: a case study of the 1995 Kobe earthquake *Economics. Syst. Res.*, 26(1) (2014), pp. 98–117
14. J.M. Gould *Input-Output Databases: Uses in Business and Government* Routledge (2018)
15. J.W. Kendrick, *The New System of National Accounts*, Volume 47 of *Recent Economic Thought*, Springer Science & Business Media, 2012.
16. S. Su, *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, 23, Springer Science & Business Media, 2009.

17. D. Guha-Sapir, P. Hoyua, P. Wallemaque, R. Below, 2016 Annual Statistical Review of Natural Disasters – Figures and Trends, Technical Representative of the Center for Research on the Epidemiology of Natural Disasters (CRED), 2017.
18. V.V. Leontief Output, Employment, Consumption and Investment QJ Econ., 58 (2) (1944), pp. 290–314
19. J. Oosterhaven On the limited use of the dysfunctional input-output model Economics. System Edition (2017), pp. 1–10
20. A.E. Stinge, M. Bochkareva Reflections on Imbalances in the Post-Disaster Economy: An Input-Output Proposal, Economics. System Decision, 19(2) (2007), pp. 205–223
21. S. Hallegatte An adaptive regional input-output model and its application to assessing the economic consequences of Hurricane Katrina. Risk Analysis., 28 (3) (2008), pp. 779–799
22. Noy, W. Dupont IV Long-term consequences of natural disasters – Brief review of the literature Work. Pap. Econ. Finance Sch. Econ. Finance Vic. Bus. Sch. (2016)
23. S.N. Jonkman, M. Bochkareva, M. Kok, P. Bernardini Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in the Netherlands Ecol. Economics., 66 (1) (2008), pp. 77–90.
24. K.P. Donaghy, N. Balta-Ozkan, G.J. Hewings Modeling unexpected events in econometric input-output models of regional economies over time Economy. System Decision, 19(2) (2007), pp. 125–145
25. R.B. Olshansky, L.D. Hopkins, L.A. Johnson Disaster, and recovery: processes compressed in time Nat. Hazards Rev., 13 (3) (2012), pp. 173–178.
26. Rose, D. Wei Estimating the economic consequences of a port shutdown: the special role of resilience Econ. Syst. Res., 25 (2) (2013), pp. 212–232
27. Y. Okuyama, M. Sonis, G.J. Hewings, Economic impacts of an unscheduled, disruptive event: a Miyazawa multiplier analysis, in: Understanding and interpreting economic structure, Springer, 1999, pp. 113–143.
28. S. Hallegatte, V. Przulski, The economics of natural disasters: concepts and methods, World Bank Policy Research Working Paper 5507, 2010.
29. M. Jahn, The Economics of Urban Extreme Weather Events: Terminology and Regional Impact Models, Technical Representative of the Hamburg Institute for International Economics (HWWI), Research Paper 143, 2013.
30. Yu.Ya. Himes, B.M. Horowitz, J.H. Lambert, J. Santos, K. Crowther, K. Lian An unworkable input-output model for interdependent infrastructure sectors. II: case studies. J. Infrastructure. System., 11 (2) (2005), pp. 80–92.
31. K.U. Anderson, J.R. Santos, Y.Y. Himes A Risk-Based Input-Output Methodology for Measuring the Impact of the August 2003 Northeast Power Outage Economics. System Decision, 19(2) (2007), pp. 183–204.

FEATURES OF ECONOMIC MODELING IN NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCY SITUATIONS BASED ON INTER-SECTORY BALANCE MODELS

Avdotin V.P.¹, Avdotina Yu.S.²

¹Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

²Ministry of Civil Defense for Emergency Situations and Disaster Relief

Abstract

In the analysis of the economic consequences of emergency situations (ES) and the assessment of sustainability, economic models of intersectoral balance (input-output model, economic-mathematical balance model) characterizing intersectoral production relationships in the country's economy began to play a prominent role in the analysis of the consequences of emergencies and assessment of sustainability. These models draw attention to the difference between direct economic losses

and the cascading effects that can arise within a multi-sectoral economic system as a result of a disaster. Expanding the capabilities of the system for analyzing the intersectoral balance is crucial for adequately assessing the consequences of emergencies at a sectoral and regional level. The article presents various aspects of emergency modeling, as well as assessing economic sustainability using economic-mathematical models of an intersectoral type. Structure of the article: introduction, models of inter-industry balance, presentation of emergencies in the system of input balance, methods of input balance for analyzing the consequences of emergencies, dynamic methods, balance models and sustainability assessment, conclusions, references.

Keywords

Emergency situations of natural and man-made nature, economic and mathematical modeling, intersectoral models, linear programming, economic balance models, cascade effects, economic sustainability.