

Феномен агентного моделирования в динамике процессов логистических систем международной торговли

Александр Александрович АРСКИЙ
кандидат экономических наук, доцент,
Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации
(125167, Москва, пр-кт Ленинградский, д. 49/2) -
доцент кафедры логистики, e-mail: arskiy@fa.ru

УДК:658.7/.8; ББК: 65.291.59; Jel:L91
DOI: 10.64545/2072-8042-2026-1-18-25

Аннотация

В статье представлена авторская интерпретация результатов анализа эффективности проектирования логистических систем на основе методики системного анализа, основанной на применении дискретно-событийных моделей и модели агентного моделирования. Применение агентного моделирования в проектировании логистических систем, рассмотрен как феномен, образуемый необходимостью учета бесконечного множества факторов оказывающих влияние на конечное множество потенциальных субъектов национальных логистических систем. На примере десятилетнего прогноза динамики численности потенциальных потребителей российского экспорта в Танзанию, обосновывается тезис о необходимости учета многофакторного воздействия, выраженного в событиях, которые кардинальным образом могут изменить потребительские предпочтения, покупательную способность и доступ стран к взаимной торговле.

Ключевые слова: агентное моделирование, системный анализ, внешнеторговая логистика, Танзания, международный транспортный коридор «Север-Юг»

The Phenomenon of Agent-Based Modeling in International Trade Logistics Systems

Alexander Aleksandrovich ARSKIY,
Candidate of Sciences in Economics, Associate Professor, Financial university under the Government
of the Russian Federation (49/2 Leningradsky prospekt, Moscow, 125167) - Associate Professor,
Department of Logistics, email: arskiy@fa.ru

Abstract

This article presents the author's interpretation of the results of an efficiency analysis of logistics system design, based on a systems analysis methodology with discrete event simulation and agent-based modeling. The application of agent-based modeling in logistics system design is examined as a phenomenon arising from the necessity to account for an infinite number of factors



influencing a finite set of potential participants in national logistics systems. Using a ten-year forecast of the projected consumer base for Russian exports in Tanzania as an example, the study substantiates the argument that multifactorial impact—manifested in events that can drastically change consumer preferences, purchasing power, and countries' access to mutual trade – should be taken into account.

Keywords: agent-based modeling, systems analysis, foreign trade logistics, Tanzania, international North-South transport corridor.

ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Трансформация национальной экономики, обусловленная необходимостью структурных изменений в области производства, транспорта и торговли обусловила поиск новых эффективных методик прогнозирования рисков и проектирования логистических систем. Методики при этом представляют собой комплекс методов, обеспечивающих заданную точность прогнозирования и многовариативное планирование в области национальных и международных перевозок, а также в развитии логистической и таможенной инфраструктуры (пункты пропуска и складские комплексы). Соответственно применение нескольких методов в комплексе, призвано компенсировать недочеты методик относительно друг друга и усилить, за счет синергии их «сильные» с точки зрения фундаментальной науки стороны.

Повышение точности прогнозирования и последующего проектирования логистических систем на основе результатов прогнозной модели, позволяя прийти к конечной, глобальной цели национальной экономики – снижения логистических издержек на всех этапах жизненного цикла того или иного товара или услуги. Таким образом, актуальной задачей настоящего исследования, является определение и обоснование эффективной методики проектирования логистических систем, национальной и международной торговли¹.

В соответствии с классическим системным подходом в проектировании логистических систем, системный анализ и методы проектирования на его базисе, являются основой математического моделирования логистических систем, например, метод сетевого планирования и управления, позволяет на основе данных статистики и хронометража не только разработать модель логистического процесса в системе, но и посредством научного поиска впоследствии оптимизировать модель логистического процесса по критерию затрат времени. В аспекте системного анализа, декомпозиция логистического процесса на операции, позволяет сосредоточить внимание ответственного руководителя на «слабых звеньях» в процессе приняв меры по профилактике рисков и перестройке процесса, таким образом прикладное значение моделей логистического процесса возрастает в виду пози-



тивных качественных изменений (сокращение издержек, профилактика рисков). Таким образом, системный анализ в части метода сетевого планирования и управления или же метода дискретно-событийного моделирования заслуженно занимает свое место в методике проектирования логистических систем.

Однако метод сетевого планирования и управления, опираясь на данные статистики, хронометраж и прочие источники данных, может быть применен в полной мере эффективно лишь на микроуровне логистической системы – на уровне логистической системы предприятия, например. Это обусловлено качеством информации, которая используется в расчетах модели. Как правило, информация микроуровня более точная, оперативная, и ее объем даже избытен для принятия управлеченческого решения, это определяется тем фактором, что субъекты логистической системы, принадлежащие к единой системе управления, то есть субъекты логистической системы предприятия управляются теми же руководителями, которые управляют производственной системой предприятия. Иными словами, внутри системы, «за забором предприятия», руководитель обладает полной информацией о технологическом потенциале инфраструктуры логистической системы предприятия и о системном взаимодействии задействованных в реализации логистических процессов субъектах логистической системы. В случае если модель призвана обеспечить логистический процесс перевозки на национальном уровне, макроуровне логистической системы, то здесь начинается поле непременности, поле рисков разного рода, генерация которых обусловлена не только недостаточным объемом информации об обстановке среды, но и сталкивается с конкурентным давлением поля рисков. Иными словами на макроуровне планирование осложняется тем, что проектировщик системы не может управлять рисками, генерируемыми субъектами смежных систем (деловыми партнерами, клиентами, государственными регулирующими органами), в этой связи прогнозы начинают дрейфовать в сторону «математических вероятностей», то есть прогноз реализации процесса строится с оговоркой «будет именно так, если будут выполнены именно такие условия», естественно поле вероятности, также пластиично для управления рисками, простейшая его модель представляет собой построение тренда воронки сценариев, и принятие за основу событий реализуемых по данному тренду. Однако в этом случае тренд обеспечивает точность прогнозирования лишь на коротких дистанциях проектирования – неделя или декада, для тактического и стратегического планирования тренд не обеспечивает заданной проектом точности. Касаясь мегауровня, уровня логистической системы, обеспечивающей международное товародвижение, то здесь нет аргументов в пользу сетевого метода планирования и управления, его алгоритм в текущий момент не может обеспечить заданную точность прогнозирования.



ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ

В контексте данного исследования, предлагается сконцентрировать научный поиск на формировании подходов к построению методики проектирования логистических систем макро- и мегауровня. Исходя из результатов анализа проведенных исследований в предметной области развития потенциалов логистических систем и международных транспортных коридоров, в частности, предлагается использовать в методике проектирования логистической системы наряду с методом сетевого планирования и управления метод агентного моделирования, который будет обеспечивать повышение точности проектирования, за счет учета факторов, находящихся в динамике.

Агентное моделирование, в общем виде, представляет собой метод анализа сложных систем, в основе которого лежит создание «цифрового двойника», являющегося точной копией реальной системы с ее процессами и структурными связями, для проведения вычислений, тестов и экспериментов на базе этого «цифрового двойника». Агентное моделирование, в свою очередь, концентрирует свое внимание на поведении агентов в данном цифровом двойнике, которые могут оказывать факторное воздействие на модель посредством различных управлеченческих решений. Именно в этом контексте комбинирование «статичных» и «динамичных» методов системного анализа обещает повышение прикладного значения методики применительно к реальной среде и обстановке, иными словами, субъекты системы – предприниматели, контролирующие органы, аутсорсеры, могут более активно внедрять в свою практику.²

Полем применения имитационного моделирования является прежде всего прогноз потенциала того или иного фактора, оказывающего долгосрочное влияние на систему. Для повышения качества восприятия материалов исследования представим в виде примера применения агентного моделирования, анализ фактора потребления импорта в стране -партнере России – Танзании. Выбор Танзании в качестве примера не случаен, так как в формате реализации проекта международного транспортного коридора «Север-Юг» значительно возрастает внешнеторговый потенциал России со странами Восточной Африки.

Феномен агентного моделирования, применительно к процессам логистических систем международной торговли, состоит в непременном учете динамики изменений при прогнозировании степени влияния фактора, например, на потенциал внешнеторгового оборота между Россией и Танзанией, при котором самый точный прогноз одновременно будет верным для системы с учетом влияния именно этого фактора, и одновременно будет не верным (не точным), так как не учтена динамика синергии множества факторов, оказывающее влияние на выбранный (изучаемый) фактор. Исследуя один из таких факторов – демографический фактор,



оказывающий влияние на потребительский спрос, можно установить математическую зависимость на основе статистического метода, который будет опираться на приведенные ниже данные (см. рисунок 1).

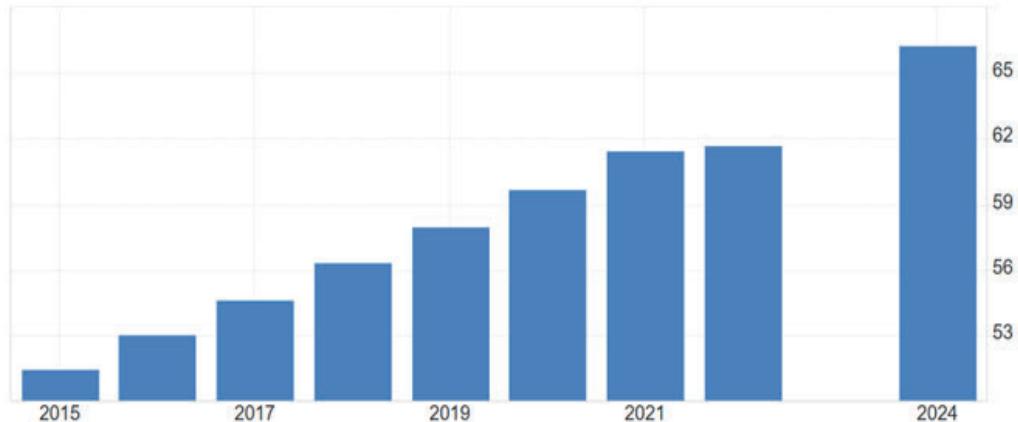


Рис. 1 Динамика численности населения Танзании 2015-2024 г. (млн человек)

Fig. 1 Population dynamics of Tanzania 2015-2024 (million people)

Источник: URL: <https://ru.tradingeconomics.com/tanzania/population>

Представленная динамика численности потенциальных потребителей экспортных из России товаров и услуг положительна, общее число танзанийцев составляет по данным на 2024 г. 66,28 млн чел., что делает Танзанию крупнейшей по численности страной на африканском континенте. Исследовав динамику за период десяти лет (2015-2024), можно установить, что население Танзании составляло 51,48 млн человек (2015 г.) и поступательно увеличивалось ежегодно, составив прирост за указанный десятилетний период 28,74%. Возможно построить прогноз роста числа потенциальных потребителей в перспективе ближайших десяти лет. Прогнозной моделью может служить показатель расчета среднего прироста населения, на основании данных представленных на рисунке 1. Средний шаг годового прироста населения $\approx 2\%$, при расчете данного показателя, были учтены данные периода пандемии COVID-19, при которой увеличивалась смертность населения.³ Таким образом, прогнозная модель будет иметь вид (прогноз):

$$66,28 \times (1+0,02)^{10} = 80,79 \text{ (млн чел.)} \quad (1)$$

Итак, исходя из представленных данных, на основании статистического метода оценки построен прогноз прироста населения потенциального потребителя российского экспорта. Чем, в свою очередь, будет отличаться имитационная модель динамики численности населения Танзании, при учете даже ограниченного числа факторов?

В этих целях представим не полный комплекс факторов, которые могут быть учтены в имитационной модели, в проекции на 10 последующих лет (см. таблицу 1).

Таблица 1

**Комплекс факторов, оказывающий влияние на прогнозирование
в области динамики численности народонаселения**

№	Фактор	Факторное воздействие рациональное	Факторное воздействие иррациональное	Вероятность реализации фактора (экспертная оценка)
1	Пандемия, эпидемия	Формирование устойчивости к фактору	Повышение смертности, снижение уровня рождаемости	20%
2	Вооруженный конфликт	Устранение гражданских и межгосударственных противоречий	Повышение смертности, стагнация экономики	20%
3	Блоковые санкционные ограничения	Выработка суверенного подхода в торговой политике	Стагнация экономики, снижение уровня рождаемости	25%
4	Динамика развития глобального рынка	Развитие национальной экономики	Трудовая миграция на континенте	50%

Источник: составлено автором

Таблица 1 требует пояснений:

Первый фактор, фактор пандемии или локальной эпидемии, возможен на континенте и, в частности, в Танзании с вероятностью <20%, при этом, как показывает ситуация с динамикой во время пандемии COVID-19, смирность имеет возрастающую динамику, а рождаемость, в свою очередь, ограничивается высоким уровнем детской смертности. При этом возникает фактор отложенной рождаемости, обусловленной сложной обстановкой в сфере медицины и социума в целом.

Второй фактор, к сожалению, является фактором высокого риска, так как кардинально может изменить социальный, экономический и политический уклад, что может спровоцировать миграцию населения, которую, вероятно, невозможно будет покрыть в перспективе от 3-5 лет. Вероятность реализации фактора <20%.

Третий фактор имеет природой своей генерации интересы третьих стран, использующих торговые отношения и экономические связи как метод недобросовестной конкуренции. В наши дни, при накале борьбы за ресурсы и рынки сбыта



этих ресурсов, использование санкционных нетарифных ограничений является инструментом многих развитых экономически стран. Танзания может стать разменной монетой в геополитической игре гигантов международного рынка. Вероятность реализации фактора <25%.

Четвертый фактор, казалось бы, имеет положительную природу генерации и нацелен только на достижение положительных, рациональных результатов развития внешнеторгового взаимодействия, однако сам механизм глобального рынка подразумевает отсутствие искусственных границ в движении товаров и многовариативность товарных предложений, однако в этом случае планирование в торговой политике России будет носить дискретный характер и будет принимать форму «коротких» контрактов, что не способствует формированию «длинных» инвестиционных проектов во внешнеторговом взаимодействии. Вероятность реализации фактора >50%.

Таким образом, при учете в имитационной модели указанных факторов, любые математические расчеты, в конечном итоге, примут вид расчетов вероятности наступления того или иного фактора, при этом во всем диапазоне его интенсивности.⁴ Следовательно, в целях повышения точности прогнозирования, необходимо произвести достаточное количество тестов, имитирующих как результаты рационального, так и иррационального воздействия факторов на систему, при этом важно учитывать неопределенность экономического поведения агентов, принимающих управленческие решения, так как на них оказывается воздействие внутри социума (реклама, государственная политика, религиозные контексты восприятия событий и т.д.).

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОГО ПОИСКА В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ

Научная новизна данного исследования состоит в обосновании тезиса о необходимости учета комплекса факторов, оказывающих влияние на результаты функционирования сложных социально-экономических систем, которое более эффективно проводится посредством методики системного анализа, основанной на синергии эффектов «статических» и «динамических» моделей. Авторская интерпретация алгоритма факторного воздействия – условна, так как при анализе факторного воздействия должны быть учтены взаимосвязи системы со смежными системами, например, со смежными логистическими системами стран-транзитеров (в случае развития торгового сотрудничества с Танзианией это Иран).

Настоящее исследование представляет собой авторскую интерпретацию результатов научно-исследовательской работы, предпринятой в формате поиска эффективных решений в области развития экономического потенциала международного транспортного коридора «Север-Юг» и проекта развития Северного морского пути. При проведении исследования было установлено, что зависимость резуль-



татов системы от внешнего факторного воздействия возрастает, при увеличении числа агентов в числе транзитных территорий, которые имеют собственные национальные отличия в торговой политике и технологии функционирования логистических систем. Таким образом в настоящем исследовании успешно подтверждены направления научного поиска методик, обеспечивающих качественное проектирование логистических систем международной торговли, как систем, которые имеют максимальное число факторов, реализуемых на системном макро- и мегауровне, оказывающих влияние на формирование ее экономических результатов.

ПРИМЕЧАНИЯ:

¹ Erokhin, V., Endovitsky, D., Bobryshev, A., Kulagina, N., & Ivolga, A. (2019). Management Accounting Change as a Sustainable Economic Development Strategy during Pre-Recession and Recession Periods: Evidence from Russia. *Sustainability*, 11(11), 3139. <https://doi.org/10.3390/su11113139>

² Makarov V. L. Agent-based modeling for a complex world / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, J. M. Epstein. – 2nd edition, revised. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “State Academic University for the Humanities”, 2022. – 74 p. – ISBN 978-5-6045843-4-7. – DOI 10.18254/978-5-604-5843-4-7.

³ Ерохин В. Л. Возможные сценарии изменения объемов мировой торговли вследствие влияния пандемии COVID-19 // Маркетинг и логистика. – 2020. – № 2(28). – С. 11-22.

⁴ Problems of Standardizing Agent-Based Model Description and Possible Ways to Solve Them / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. A. Rossoshanskaya [et al.] // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2023. – Vol. 93, No. 4. – P. 239-248. – DOI 10.1134/s1019331623020119.

БИБЛИОГРАФИЯ:

Ерохин В. Л. Возможные сценарии изменения объемов мировой торговли вследствие влияния пандемии COVID-19 // Маркетинг и логистика. – 2020. – № 2(28). – С. 11-22 @@@ Eroxin V. L. Vozmozhnye scenarii izmeneniya ob'emov mirovoj torgovli vsledstvie vliyaniya pandemii COVID-19 // Marketing i logistika. – 2020. – № 2(28). – S. 11-22.

Erokhin, V., Endovitsky, D., Bobryshev, A., Kulagina, N., & Ivolga, A. (2019). Management Accounting Change as a Sustainable Economic Development Strategy during Pre-Recession and Recession Periods: Evidence from Russia. *Sustainability*, 11(11), 3139. <https://doi.org/10.3390/su11113139>

Makarov V. L. Agent-based modeling for a complex world / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, J. M. Epstein. – 2nd edition, revised. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “State Academic University for the Humanities”, 2022. – 74 p. – ISBN 978-5-6045843-4-7. – DOI 10.18254/978-5-604-5843-4-7.

Problems of Standardizing Agent-Based Model Description and Possible Ways to Solve Them / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. A. Rossoshanskaya [et al.] // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2023. – Vol. 93, No. 4. – P. 239-248. – DOI 10.1134/s1019331623020119.

