

УДК 330.1

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-470

*Горелова Галина Викторовна*¹,
научный руководитель, д-р техн. наук, профессор;
*Чеботарева Евгения Андреевна*²,
заведующая кафедрой, канд. техн. наук, доцент

ПРИПОРТОВЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

¹ Россия, Таганрог, Южный федеральный университет, Институт
управления в экономических, социальных и экологических системах,
gorelova-37@mail.ru;

² Россия, Ростов-на-Дону, Ростовский государственный институт путей
сообщения, uer@rgups.ru

Аннотация. В работе исследованы возможности применения методологии когнитивного моделирования для припортовых транспортно-технологических систем (ПТТС) в условиях изменения объемов транспортной работы взаимодействующих видов транспорта, изменения системы управления производственными процессами. Определены основные элементы ПТТС с участием железнодорожного транспорта, изменение параметров работы которых может повлиять на устойчивое функционирование транспортной отрасли. Разработана когнитивная модель «Припортовая транспортно-технологическая система региона», приведены результаты исследования ее свойств (структурных, устойчивости), а также серия вычислительных экспериментов сценарного моделирования развития ПТТС с учетом выделенных факторов и элементов системы. Рассмотрены перспективы дальнейшего развития когнитивного моделирования сложных транспортных систем.

Ключевые слова: припортовые транспортно-технологические системы, когнитивное моделирование, сценарии, устойчивость.

Galina V. Gorelova¹,
Scientific Supervisor, Doctor of Technical Sciences;
Evgeniya A. Chebotareva²,
Head of Department, Candidate of Technical Sciences

PORT TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS, COGNITIVE MODELING

¹ Institute of Management in Economic, Social and Ecological Systems,
Southern Federal University, Taganrog, Russia, gorelova-37@mail.ru;

² Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, uer@rgups.ru

Abstract. The paper studies the possibilities of applying the cognitive modeling methodology for port transport and technological systems (PTTS) in the context of changing volumes of transport work of interacting modes of transport, changes in the production process management system. The main elements of PTTS with the participation of rail transport are determined, the change in the operating parameters of which can affect the sustainable functioning of the transport industry. A cognitive model of the "Port Transport and Technological System of the Region" is developed, the results of the study of its properties (structural, stability) are presented, as well as a series of computational experiments of scenario modeling of PTTS development taking into account the identified factors and elements of the system. Prospects for further development of cognitive modeling of complex transport systems are considered.

Keywords: port transport and technological systems, cognitive modeling, scenarios, sustainability.

Введение

Актуальная научная проблема, на решение которой направлено данное исследование в рамках нового проекта, состоит в необходимости развития методов анализа и принятия решений транспортно-логистической системы геостратегического региона (на примере Юга России) в условиях изменения объемов перевозок и необходимости разработки механизмов опережающего развития международных транспортных коридоров (МТК) на базе обеспечения организационно-технологической надежности элементов МТК, работы железнодорожных станций и узлов, портовых терминалов в системе мультимодального взаимодействия, разработки и функционирования интеллектуальных систем моделирования и планирования.

В работе исследованы возможности применения методологии когнитивного моделирования [1–7] для припортовых транспортно-технологических систем и решались задачи:

– определения основных элементов ПТТС с участием железнодорожного транспорта, изменение параметров работы которых может повлиять на устойчивое функционирование транспортной отрасли;

– разработки многоэтапной методологии когнитивного моделирования ПТТС, включающей формирование различных типов когнитивных моделей и определения их свойств;

– проведение импульсного моделирования развития ПТТС с учетом повышения организационно-технологической надежности перевозочного процесса на припортовых железных дорогах, позволяющего оценить возможные риски на основании предвидения возможного будущего развития системы, изменения структуры и поведения объекта (сценариев возможного развития).

Когнитивные исследования должны проводиться с позиций свойств и закономерностей развития сложных систем и с привязкой к конкретному бассейну (см. рис. 1).



Рис. 1. Основные характеристики систем СКЖД, ДЖД и ОЖД

В статье приведен ряд результатов когнитивного исследования припортовых транспортно-технологических систем на примере МТК «Север–Юг».

Характерными являются определенные свойства ПТТС: большой размер, сложное поведение, наличие стабильных иерархических, организационных и ресурсных связей, привнесение каждым элементом измеряемого вклада в выполнении транспортной работы, наличие материальных ресурсов, средств сбора, передачи и обработки информации, а также ряд факторов, вызывающих трудности в управлении системой, связанные с неопределённостями разного рода, разнородностью информации, возрастанием роли инфраструктурных ограничений в организации перевозок, в числе

которых, высокая сезонность и гетерогенность в структуре транспортных потоков. Следует иметь в виду, что ПТТС подвержены в своем развитии различным рискам. Для их оценки и определения вектора развития требуются серьезные научные исследования с привлечением не только специалистов по системному моделированию, но и специалистов-экспертов, имеющих обширный опыт в транспортных исследованиях.

Как правило, проведение экспериментов для сложных систем с целью выявления лучших управленческих решений затруднительно, а натурный эксперимент практически невозможен. Быстро меняющиеся условия работы транспортной отрасли в связи с геополитическими факторами, развитие новых транспортных коридоров, изменение специфики работы припортовых железных дорог актуализируют задачу поиска приоритетных решений по развитию конкретных элементов системы, обеспечивающих адаптацию к изменяющимся условиям функционирования припортовых транспортно-технологических систем.

1. Особенности когнитивного моделирования ПТТС

К основным особенностям можно отнести следующие:

1) Когнитивное моделирование развития припортовой транспортно-технологической системы является многоэтапным циклическим процессом.

2) Как и для других типов имитационных моделей сложных систем при построении ее модели в виде когнитивной карты имеет место упрощение системы, а также преломленное через сознание исследователя отображение процесса познания свойств сложной системы (субъективное представление). В основе когнитивного анализа припортовых систем лежит когнитивная модель, отражающая взаимосвязь критериев и факторов развития ПТТС на разных уровнях, отражающая сущность организационного и технологического процессов в ПТТС.

3) ПТТС – сложная система и подробная когнитивная карта будет мало эффективна вследствие большой размерности задачи. В этом случае следует использовать иерархические когнитивные карты. Например, строится укрупненная карта стратегического анализа, планирования и управления ПТТС (карта верхнего уровня), которая раскрывается совокупностью тактических карт среднего уровня, которые в свою очередь более подробно идентифицируются оперативными когнитивными картами нижнего уровня, отражающими инвестиционную, кадровую, экономическую и пр. составляющие ПТТС.

4) В основу когнитивной модели ПТТС были положены ранее проведенные исследования, связанные с анализом работы транспортной системы Юга России и Северо-Кавказской железной дороги, обслуживающей морские порты Азово-Черноморского бассейна и Таманского полуострова, и ряд моделей системной динамики.

2. Этапы когнитивного моделирования ПТТС

Этап 1. Разработка когнитивной модели ПТТС

Когнитивная модель ПТТС является иерархической (двухуровневой), состоящей из когнитивной карты верхнего уровня (концепты карты являются обобщенным представлением основных характеристик системы) и карты нижнего уровня, детализирующей вершины карты верхнего уровня, которые инициируют изменения в вершинах когнитивной карты нижнего уровня:

$$IG = \langle G_k, G_{k+1}, E_k \rangle, \quad k \geq 2,$$

$$G_k = \langle \{v_i(k)\}, \{e_{ij}(k)\} \rangle, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

где $V_k = \{v_i(k)\}$ – множество вершин (концепты, факторы, показатели, объекты) уровня k , $E_k = \{e_{ij}(k)\}$ – множество отношений (причинно-следственные связи) e_{ij} между вершинами v_i и v_j уровня k .

На рисунке 2 изображена когнитивная карта верхнего уровня G_1 (знаковый ориентированный граф), названная «Припортовая транспортно-технологическая система». В модели отражен механизм повышения организационно-технологической надежности работы ПТТС.

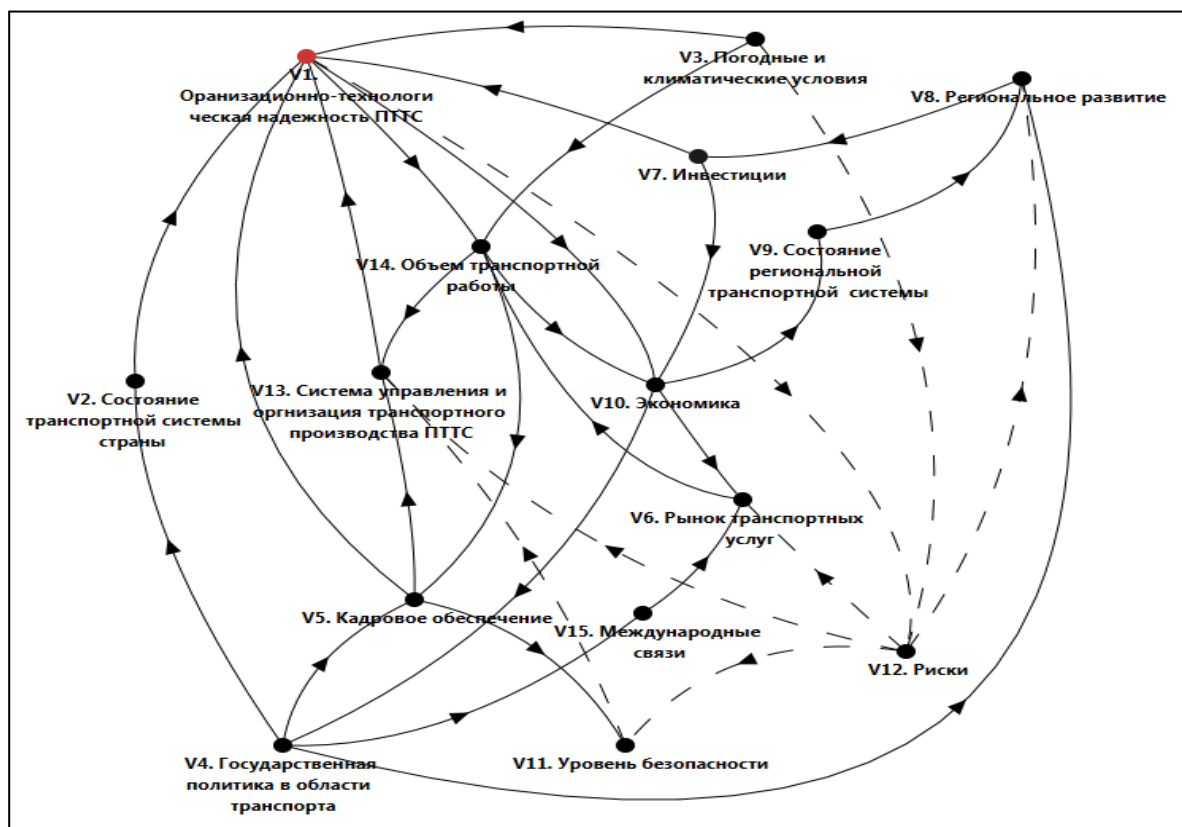


Рис. 2. Когнитивная карта G_1 ,
«Припортовая транспортно-технологическая система»

Сплошными линиями на рисунке 2 обозначены положительные дуги (+1), т. е. такие, когда положительные/отрицательные изменения в вершине

v_i приводят, соответственно, к положительным/отрицательным изменениям в вершине v_j ; пунктирными линиями обозначены отрицательные дуги (-1) , когда положительные/отрицательные изменения в вершине v_i приводят, соответственно, к отрицательным/положительным изменениям в вершине v_j .

Графу $G1$ когнитивной карты соответствует матрица смежности R_G , операции над которой являются основой проведения следующих этапов когнитивного моделирования.

Когнитивная карта (см. рис. 2) построена с помощью программной системы CMSS [7], которая используется также в дальнейших этапах когнитивного моделирования.

Этап 2. Анализ свойств когнитивной карты

2.1. Анализ вершин когнитивной карты $G1$. Как показал анализ, наибольшей степенью обладают вершины V_7 . Производство ($p = 11$), V_4 . Зарплата ($p = 11$) и V_6 . ВРП ($p = 10$). Эти вершины имеют наибольшее число входов и выходов (полустепени вершин), что может определять важность их для поведения системы в целом.

2.2. Анализ циклов когнитивной карты, определение структурной устойчивости. Сложным системам присуща важная особенность – наличие в них контуров обратной связи, которые должны отображаться в когнитивных моделях. Выделение циклов (контуров) когнитивной карты и их анализ дает возможность, рассматривая и интерпретируя причинно-следственные циклы, проверить не противоречит ли они и когнитивная модель в целом знаниям и представлениям о реальной системе, а также позволяет сделать заключение о структурной устойчивости модели. Для этого определяются циклы положительной и отрицательной обратной связи и их количественное соотношение в модели. На рисунке 3 изображен один из циклов когнитивной карты $G1$.

Структурно устойчивой системой считается система, в которой наблюдается нечетное число отрицательных циклов [2]. Данная система структурно устойчива, поскольку в ней из 53 циклов 11 являются циклами отрицательной обратной связи.

Циклы, которые усиливают тенденцию к отклонению от начального состояния, называют циклами положительной обратной связи (их признак – отсутствие или четное число отрицательных дуг). Циклы, которые подавляют тенденцию к отклонению от начального состояния, называют циклами отрицательной обратной связи (их признак – присутствие нечетного числа отрицательных дуг). Наличие в системе многих циклов, усиливающих отклонения, предполагает ее неустойчивость, но, в то же время, наличие многих циклов, противодействующих отклонению, также может приводить к

неустойчивости, но другого вида – в форме колебаний с увеличивающейся амплитудой.

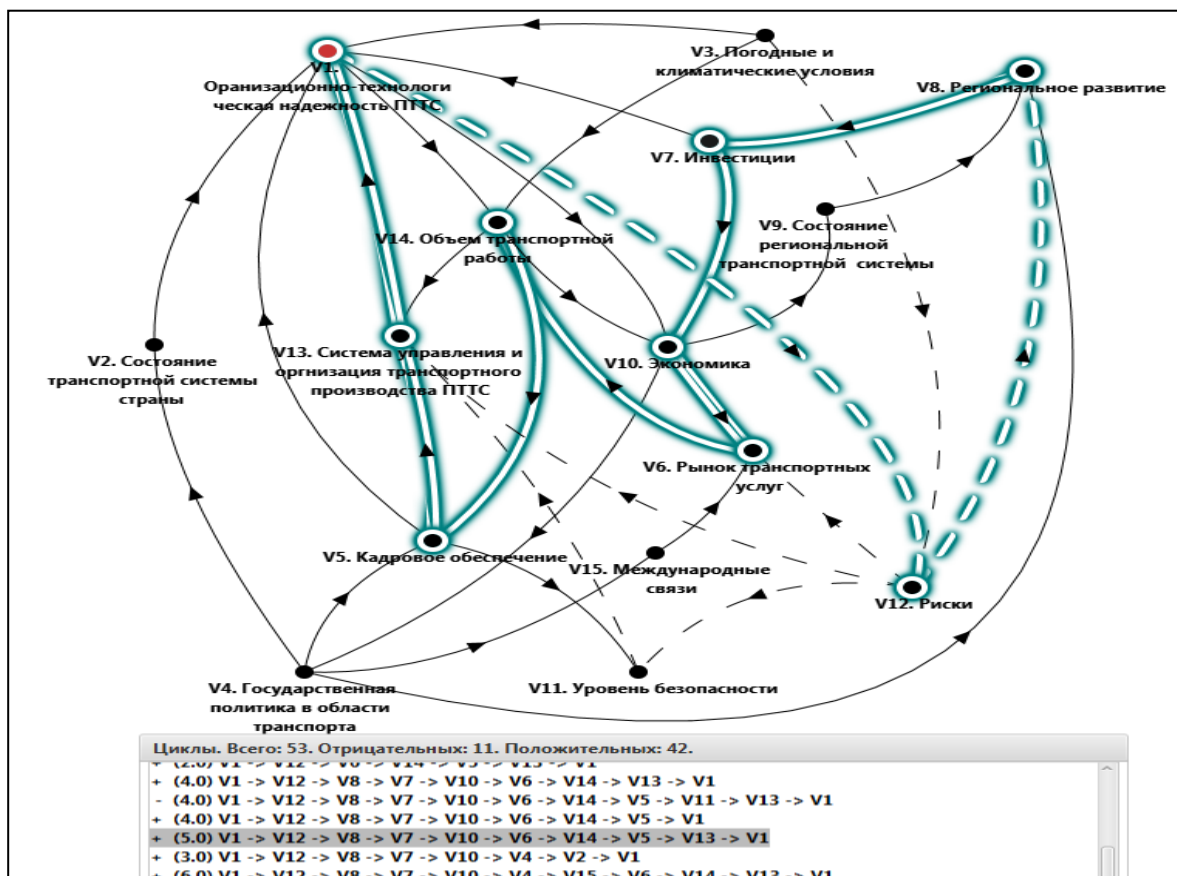


Рис. 3. Выделение одного из отрицательных циклов когнитивной карты G1

Если колебания показателей затухают, и система приходит в заданное состояние, то можно говорить об устойчивости системы.

Помимо исследования структурной устойчивости следует исследовать устойчивость системы к возмущениям и по начальному значению [2–5]. Данная система устойчива к возмущениям.

Этап 3. Сценарное моделирование

Сценарное моделирование реализуется путем внесения инициирующих процесс развития ситуаций на модели путем внесения импульсных возмущений в вершины модели. Перед началом моделирования сценариев был разработан план вычислительного эксперимента, задавший те вершины, в которые вносится возмущение, имитирующее то или иное возможное изменение в системе. Рассматривается сценарий того, что будет, если произойдут изменения в одной вершине или в их совокупности. Программная система CMSS [7] позволяет вносить возмущения в одну, две и более вершин одновременно и на определенных тактах моделирования.

В качестве примера приведем результаты моделирования одного из сценариев.

Сценарий № 1. Предположим, что в системе растут риски, что моделируется импульсом $q_{12} = +1$, вносимым в вершину V_{12} ; этому противостоят действия системы управления и организации транспортного производства ППС (импульс $q_{13} = +1$) и рост инвестиций (импульс $q_7 = +1$).

Результаты импульсного моделирования представлены на рисунках 4–6.

Шаг Вершина	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V1. Организационно-технологическая надежность ППС	0.0	0.0	2.0	1.0	1.0	7.0	14.0	24.0	39.0	94.0	238.0
V2. Состояние транспортной системы страны	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0
V3. Погодные и климатические условия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V4. Государственная политика в области транспорта	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0
V5. Кадровое обеспечение	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	7.0	12.0	35.0	79.0	133.0
V6. Рынок транспортных услуг	0.0	0.0	-1.0	0.0	4.0	3.0	5.0	24.0	46.0	87.0	167.0
V7. Инвестиции	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	4.0	7.0	5.0	11.0	46.0	86.0
V8. Региональное развитие	0.0	0.0	-1.0	-1.0	3.0	6.0	4.0	10.0	45.0	85.0	134.0
V9. Состояние региональной транспортной системы	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0
V10. Экономика	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0	98.0	225.0
V11. Уровень безопасности	0.0	0.0	-1.0	-1.0	1.0	2.0	4.0	13.0	25.0	58.0	117.0
V12. Риски	0.0	1.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	-6.0	-13.0	-23.0	-38.0	-93.0
V13. Система управления и организация транспортного производства ППС	0.0	1.0	0.0	1.0	4.0	3.0	8.0	20.0	32.0	82.0	145.0
V14. Объем транспортной работы	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	5.0	10.0	19.0	48.0	85.0	181.0
V15. Международные связи	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	16.0	31.0	48.0

Рис. 4. Результаты моделирования Сценария № 1

Как показывают результат импульсного моделирования, сценарий можно считать удачным, т. к. несмотря на возможность увеличения в какой-то момент геополитических рисков ($q_{12} = +1$), система сможет им противостоять. По графикам импульсных процессов (см. рис. 5 и 6) видно, что этому противостоят успешные действия системы управления и организации транспортного производства ППС ($q_{13} = +1$) и рост инвестиций ($q_7 = +1$). При этом все показатели, учтенные в когнитивной карте и характеризующие ее состояние, имеют устойчивую тенденцию нарастания. Так, наибольший эффект нарастающих положительных тенденций виден на рынке транспортных услуг, который может быть обусловлен системным эффектом улучшения кадрового обеспечения, организационно-технологической надежности ППС, ростом инвестиций.

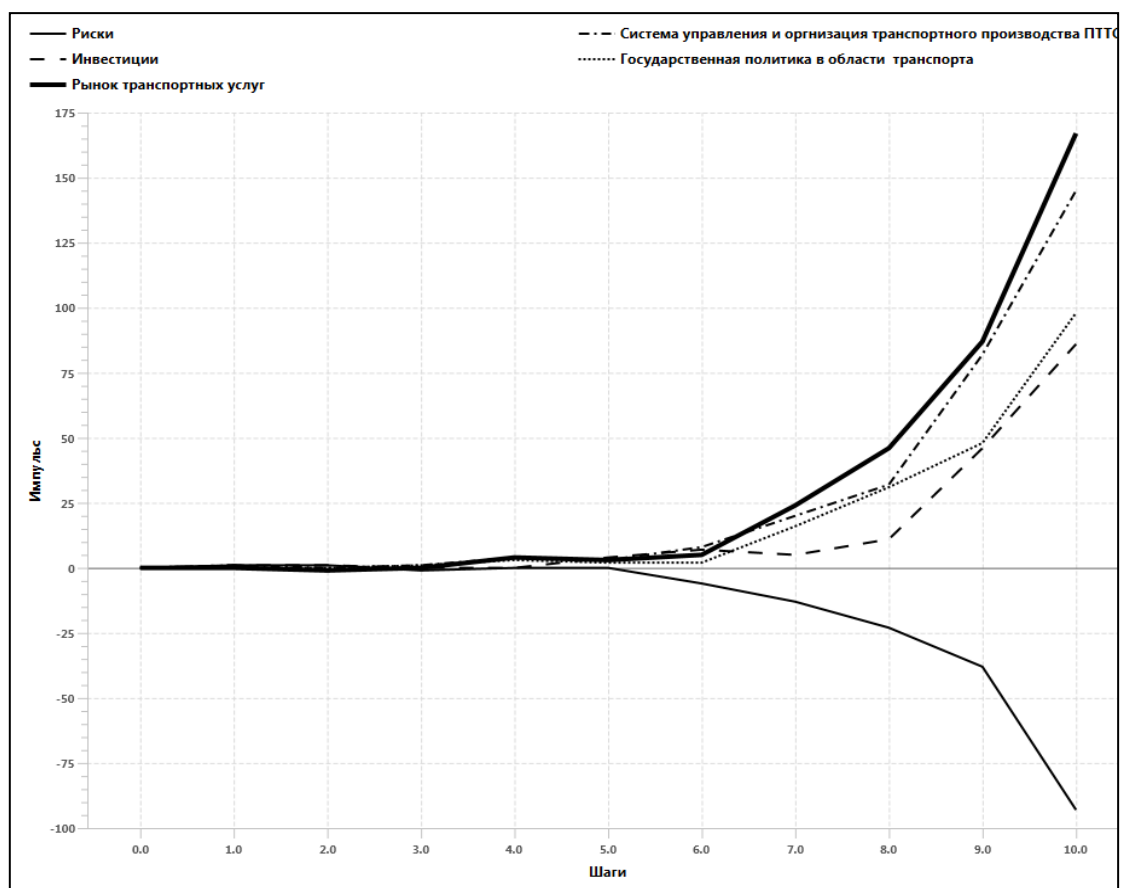


Рис. 5. Первый график импульсных процессов, Сценарий № 1

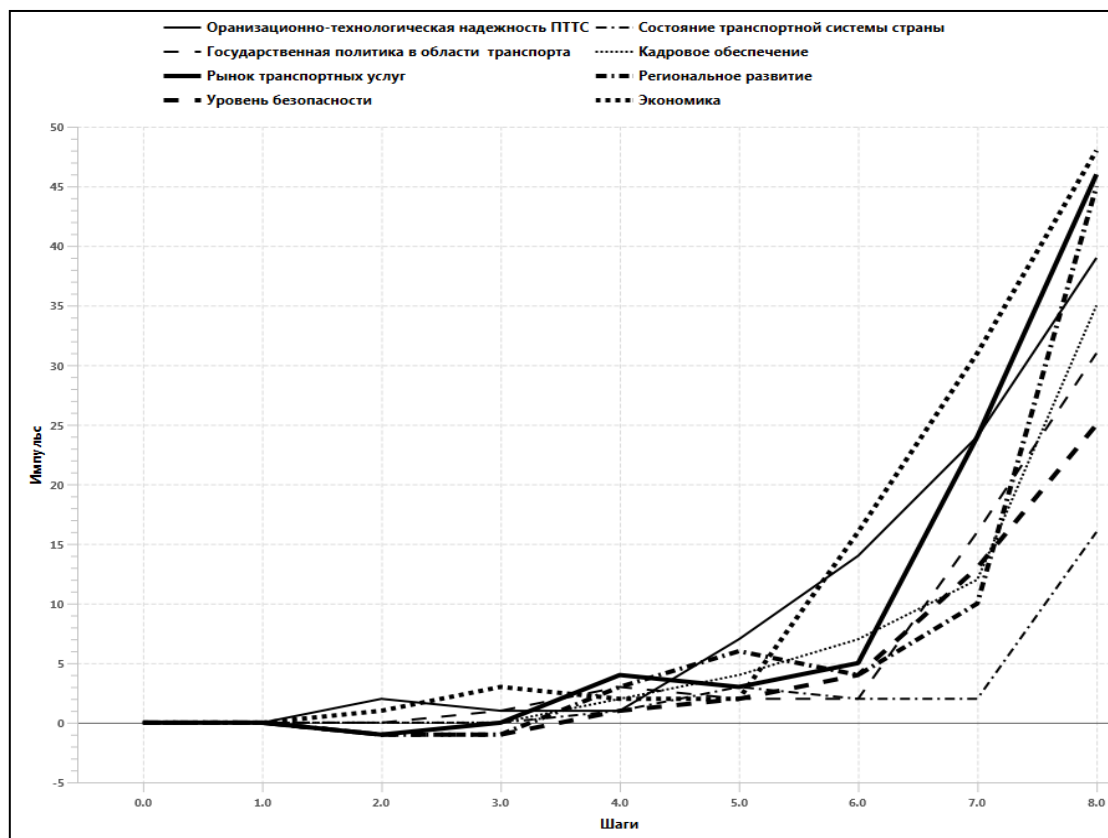


Рис. 6. Второй график импульсных процессов, Сценарий № 1

Заключение

В работе было поведено когнитивное имитационное моделирование [1–7] припортовой транспортно-технологической системы Юга России и Северо-Кавказской железной дороги [8, 10]. Были построены когнитивные модели припортовой транспортно-технологической системы, в статье приведен пример когнитивной карты верхнего уровня и результаты ее исследования и сценарного моделирования.

Исследования соответствуют приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечню критических технологий Российской Федерации: п. 21е повышение уровня связности территории РФ путем создания транспортных, энергетических и телекоммуникационных систем, а также удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоения и использования космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики [9].

Список литературы

1. Абрамова Н. А., Авдеева З. К. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики // Проблемы управления. – М.: ИПУ РАН, 2008. – № 3. – С. 85–87.
2. Горелова Г. В., Захарова Е. Н., Радченко С. А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
3. Горелова Г. В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 – Таганрог: изд-во ТИ ЮФУ, 2013. – С.239–250.
4. Горелова Г. В., Калиниченко А. И. Инструментарий когнитивного моделирования сложных систем // Сб. научн. трудов XXII Междун. научно-практ. конф. «Системный анализ в проектировании и управлении» (SAEC-2018). – Ч. 1. – СПб., 2018. – С. 399–413.
5. Кульба В. В., Кононов Д. А., Ковалевский С. С., Косяченко С. А., Нижегородцев Р. М., Чернов И. В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. (Научное издание). – М.: ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
6. Кочкаров А. А., Салпагаров М. Б. Когнитивное моделирование региональных социально-экономических систем // В тр. 16-й Междун. научно-практ. конф. «Управление в больших системах» (УБС-16). – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 137–145.
7. Горелова Г. В., Колоденкова А. Е., Халикова Е. А. Программная система когнитивного моделирования в условиях нечеткой информации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617388 от 09.07.2015. Заявка № 2015614585 от 25.05.2015.
8. Солоп И. А., Чеботарева Е. А. Причинно-следственный анализ выполнения надежности доставки грузов железнодорожным транспортом в адрес потребителей Южного региона и портов Азово-Черноморского бассейна // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3.
9. Стратегия научно-технологического развития РФ (утверждена указом Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145 «О стратегии научно-технологического развития РФ»).
10. Чеботарева Е. А., Солоп И. А. Развитие логистических и информационных технологий планирования доставки грузов в припортовой транспортно-технологической системе Юга России // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 6.