

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

М.В. Бакалов

Ростовский государственный университет путей сообщения

Россия, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2
E-mail: Maxim_bmw@mail.ru

Ключевые слова: припортовые транспортные системы, повышение эффективности, взаимодействие участников перевозок, теория активных систем, согласование интересов, жесткие и «мягкие» математические модели.

Аннотация: Приведены существующие проблемы в работе припортовых транспортно-технологических систем. Выполнен анализ традиционных методов исследования припортовых транспортно-технологических систем. Обоснована необходимость применения для объекта исследования инструментов и методов теории активных систем. Систематизировано развитие одного из базовых механизмов теории активных систем: снят ряд ограничений в общей постановке задачи, уточнен исследуемый механизм для последовательного и параллельного взаимодействия агентов. Обозначены роль и место жестких и «мягких» математических моделей

1. Введение

Транспорт в России играет особую роль. Это не просто одна из важных отраслей экономики, это связующее звено различных отраслей и обширных территорий страны, это важнейший фактор ее безопасности.

В Транспортной стратегии РФ до 2030 г., а также стратегиях развития ОАО «РЖД» определено развитие транспортно-логистических систем в едином транспортном и информационном пространстве; повышение экологической и энергетической эффективности производственной деятельности; разработка и внедрение перспективных технических средств и «сквозных» технологий для подвижного состава и инфраструктуры, а также разработка и внедрение систем управления мультимодальным перевозочным процессом.

Ввиду технических, технологических особенностей взаимодействия различных видов транспорта имеется целый ряд проблем, проявляющихся в неравномерности движения, увеличении оборота вагонов, перепробеге судов в портах, излишнем пробеге порожних вагонов, встречном перепробеге порожних вагонов одного типа, излишней загрузке пропускных и провозных способностей участков, что требует комплексного решения [1]. Также имеет место наличие на железнодорожной инфраструктуре общего пользования значительного количества отставленных от движения поездов (рис. 1), что еще больше усугубляет указанные выше проблемы. Все эти проблемы, как в фокусе собираются в припортовых транспортно-технологических системах (ПТТС) – на стыке морского, железнодорожного, речного, трубопроводного, автомобильного транспорта.

В припортовых системах функционирует значительное количество участников перевозочного процесса: перевозчики, владельцы и операторы инфраструктуры и

подвижного состава различных видов транспорта, грузовладельцы, экспедиторы, государственные структуры со своими производственными и экономическими задачами и интересами, часто противоречивыми. В системах транспортировки экспортных грузов с участием железнодорожного транспорта число участников перевозочного процесса является максимальным.

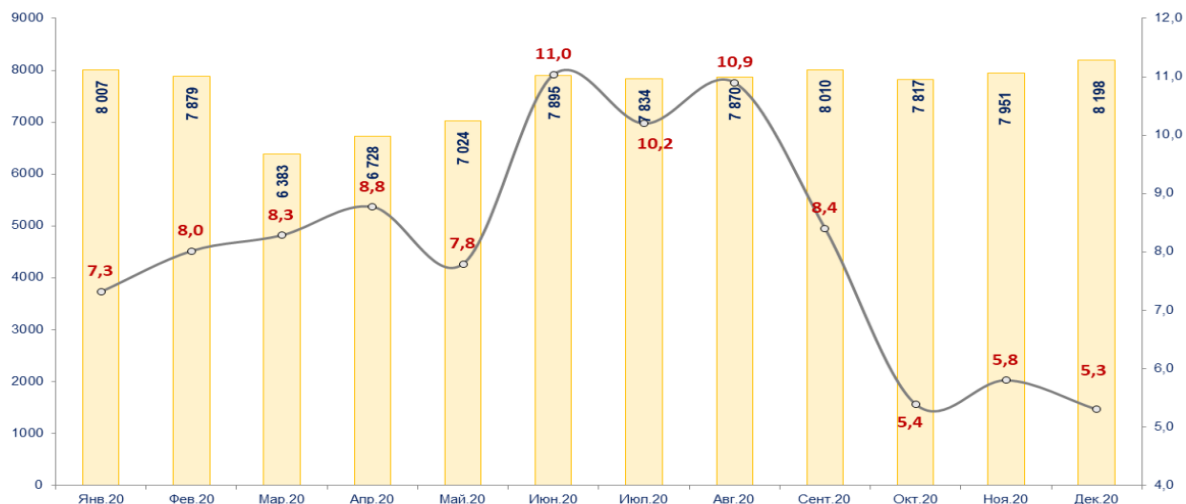


Рис. 1. Количество и простой отставленных от движения поездов на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД».

Таким образом, железнодорожный транспорт, являясь одним из связующих звеньев в логистической цепи мультимодальных перевозок, требует развития существующих (см. раздел 2) и разработки новых методов моделирования (см. раздел 3) для повышения эффективности процессов перевозки и экономии ресурсов.

2. Традиционные методы исследования ПТТС

Традиционно для выделенного объекта исследования применяются различные оптимизационные процедуры.

Один из методов оптимизации перевозок на железнодорожном транспорте — это оптимизация маршрутов и графиков движения поездов [2]. Она может включать изменение расписания движения поездов, чтобы увеличить количество грузовых и пассажирских поездов в пиковые часы, а также более равномерное распределение нагрузки. Это позволяет сократить время простоя поездов на станциях, снизить затраты на их эксплуатацию.

Еще один метод оптимизации транспортных задач на железнодорожном транспорте — это оптимизация весовых характеристик поездов [3].

Интеграция информационных технологий и цифровых систем позволяет повысить эффективность железнодорожного транспорта, снизить затраты на его эксплуатацию и обслуживание, а также улучшить качество обслуживания грузовых клиентов. Кроме того, экологические аспекты также должны быть учтены при оптимизации транспортных задач на железнодорожном транспорте.

Значительное внимание в настоящее время уделяется анализу инфраструктуры и логистики, включая проблемы доступности, эффективности и конкурентоспособности транспортной инфраструктуры [4].

Некоторые исследования анализируют технологические аспекты перевозок, включая разработку новых технологий и инновационных решений для улучшения эффективности перевозок и снижения затрат.

Представленные подходы и методы исследования ПТТС достаточно хорошо разработаны и их дальнейшее исследование следует вести в следующих направлениях:

- создание единого универсального программного обеспечения задач моделирования и оптимизации работ на ПТТС;
- создание цифровых платформ регламентированного доступа участников перевозочного процесса для реализации задач единого сетевого процесса на базе технологии интернета вещей;
- интеллектуализация транспортного процесса в ПТТС.

3. Перспективные методы исследования ПТТС

Перечисленные выше процедуры исследования и управления транспортными системами не решают всех проблем организации работ на ПТТС. Например, вне внимания исследователей остались вопросы: эгалитарности распределения нагрузки на участников перевозочного процесса; устойчивости применяемых «жестких» моделей транспортных процессов.

Исследования по теории активных систем (ТАС), инициированные в ИПУ РАН РФ, не имеют аналогов в мире и являются существенным вкладом в мировую науку [5]. ТАС может быть применена в различных практических задачах (в том числе и на транспорте): распределение дефицитных ресурсов, проведение конкурсов, командное и индивидуальное стимулирование труда и др. [6-7]. Проблемы дефицита ресурсов (в том числе времени), объективного (саморегулируемого) стимулирования труда в транспортных системах в настоящее время весьма актуальна. Кроме того, применение ТАС в транспортно-логистических процессах снимает проблему эгалитарности.

В работах [8], [9] осуществлено развитие базового механизма ТАС (см. рис. 2), рассмотренного в [6], который предполагает:

- квадратичную функцию затрат на производство продукции (у нас – оказание транспортной услуги);
- что вся выпущенная продукция реализуется в полном объеме;
- что производство продукции не связано с несением начальных затрат (кривые критериев на рисунке 2 проходят через начало координат);
- цена продукции (услуги) постоянная (фиксированная) и не зависит от реализуемого объема.

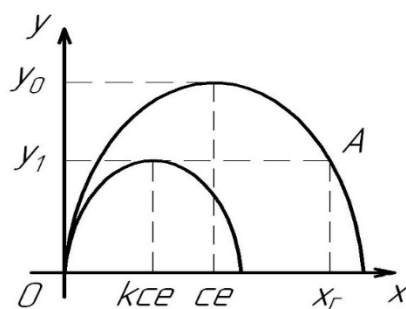


Рис. 2. Иллюстрация базового механизма ТАС [6].

Данные ограничения достаточно жесткие и на практике, как правило, не выполняются. Это и потребовало осуществить развитие модели.

Снятие части ограничений реализовано следующим образом (рис. 3):

1. Вид затратной функции не назначается априори, критерий деятельности предприятия не формируется из субъективных предположений лица принимающего решения, а рассчитывается по статистическим данным, объективно характеризующим деятельность соответствующего предприятия. Получаем зависимости вида

$$(1) \quad y = a_0 + a_1x + a_2x^2.$$

Преобразуем (1), выделив полный квадрат:

$$(2) \quad y = -m_i(x - a_i)^2 + b_i,$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Здесь параметры модели $a > 0$ и $b > 0$ имеют известный экономический смысл: a – оптимальное значение загрузки предприятия, при котором достигается максимум выручки, равный b .

2. Осуществляется анализ состояния транспортно-логистических цепей:

- если хозяйствующий субъект выполняет план перевозок, установленный верхним уровнем, то его вознаграждение осуществляется по зависимости (2);
- если хозяйствующий субъект не выполняет план, на него накладываются санкции путем пропорционального снижения величины b (штрафные санкции) с коэффициентом $0 < k < 1$. То есть, при невыполнении плана предприятие работает по модели:

$$(3) \quad y = -m_i(x - a_i)^2 + k_i b_i.$$

3. Рассчитываем соотношения для ключевых параметров процедуры: k и x_T :

$$(4) \quad x_{Ti} = a_i + (b_i(1 - k_i)/m_i)^{0.5},$$

$$(5) \quad k = 1 - m(x_T - a)^2/b.$$

Очевидно, что пока значение плана принадлежит промежутку $[a; x_T]$, предприятию выгодно выполнять этот план. Если верхний уровень управления назначит план $x > x_T$, то предприятию выгодно осуществить перевозку грузов в объеме $x = a$ и получить выручку в объеме kb .

То есть, промежуток $[a; x_T]$ – область согласованных решений верхнего уровня и хозяйствующего субъекта.

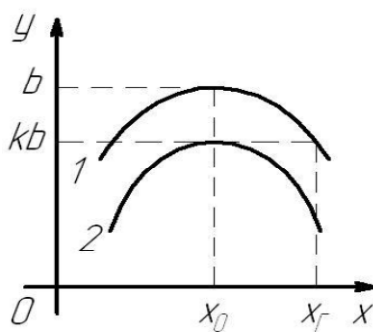


Рис. 3. Обобщение механизма согласования интересов агентов разного уровня управления.

Развитие механизма согласования противоречивых интересов агентов осуществлено в трех аспектах: снятие ограничений в общей постановке задачи, уточнение исследуемого механизма для последовательного и параллельного взаимодействия агентов.

Зашумленность и неопределенных данных не исключение, а закономерность при исследовании таких систем, как ПТТС. Это ограничивает возможности традиционных моделей. Они оказываются слишком «жесткими» – сильно привязанными к параметрам среды и объекта исследования, которые неизвестными или заданы неточно. В этой

связи получило развитие, так называемое «мягкое моделирование». В первую очередь оно связано с именем В.И. Арнольда [10]. «Мягкие модели» – это модели, поддающиеся изменениям (за счет функционального задания параметров модели). Изменение функций параметров изменит ход описываемых процессов, но это изменение не затрагивает основного качественного вывода, они позволяют рассмотреть структуры связей, решать стратегические задачи прогнозирования и управления.

В работе [11] показано, что жесткую модель исследуемого процесса всегда надлежит проанализировать на структурную устойчивость полученных при ее изучении результатов по отношению к малым изменениям модели (делающим модель «мягкой»). Математическая теория мягких моделей указывает, какую именно информацию для этого нужно иметь. Без этой информации жесткая модель может привести к качественно ошибочным предсказаниям. Доверять выводам, сделанным на основании жесткой модели, можно лишь тогда, когда они подтверждаются исследованием их структурной устойчивости.

4. Заключение

Актуальность решения обозначенных проблем обусловлена интересом всех участников транспортного рынка в припортовых транспортно-технологических системах в выполнении срока доставки, снижении оборота подвижного состава, обеспечении ритмичности перевозок при взаимодействии нескольких видов транспорта. Всё сказанное необходимо для выполнения эффективной, в первую очередь, в экономическом отношении, перевозки. Внедрение представленных методов в практическую деятельность транспортных предприятий будет способствовать получению указанных эффектов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00869, <https://rscf.ru/project/24-29-00869/>.

Список литературы

1. Павлов И.Г., Зубков В.Н., Бакалов М.В. О скорости и сроках доставки груженых и порожних вагонов // Железнодорожный транспорт. 2014. № 12. С. 10-15.
2. Черняев А.Г., Шаманаев В.Н., Зубков В.Н., Бакалов М.В. О целесообразности специализации основных направлений Северо-Кавказской железной дороги преимущественно для пассажирских или грузовых перевозок // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 9. С. 46-53.
3. Zubkov V., Ryazanova E., Chebotareva E., Bakalov M., Gordienko A. Capacity and traffic management on a heavy-traffic railway line // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1116. P. 934-949.
4. Черняев А.Г., Зубков В.Н., Бакалов М.В. На основе развития инфраструктуры и полигонных технологий // Железнодорожный транспорт. 2016. № 9. С. 32-37.
5. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами // Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.
6. Новиков Д.А. Состояние и перспективы теории активных систем // Управление большими системами: сборник трудов. 2004. № 9. С. 7-26.
7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.
8. Лябах Н.Н., Колесников М.В., Бакалов М.В. Моделирование деятельности транспортных предприятий // Вестник РГУПС. 2018. № 1. С. 72-77.
9. Колесников М.В., Шаповалова Ю.В. Математический инструментарий процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей // Вестник РГУПС. 2019. № 2. С. 98-103.
10. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2004. 32 с.
11. Kolesnikov M., Lyabakh N., Bakalov M., Godovany K. Development of Digital, Intelligent Technologies for Analysis and Synthesis of Complex Systems // 2023 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2023. 2023. P. 854-859.