

5. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – №6. – С. 39-44
6. Тимченко В.С. Оценка перспективной пропускной способности участков железнодорожной сети с учетом предоставления «окон», на основе применения имитационного моделирования процессов перевозок // Молодой ученый. — 2014. — №2. — С. 199-204.



**Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А.,** ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск  
**Юань Т.,** Харбинский политехнический университет, г. Харбин (КНР)

## **Комплексный подход к созданию интеллектуальных транспортных систем на промышленных предприятиях\***

### **Введение**

В настоящее время одним из основных факторов, ограничивающих повышение качества перевозок в условиях роста сложности структуры грузопотоков, является недостаточный уровень согласованности взаимодействия магистральных видов транспорта и транспорта необщего пользования на участках непосредственного транспортного обслуживания производства и в транспортных узлах. Например, средние годовые потери промышленного железнодорожного транспорта металлургического предприятия, включающего в себя несколько десятков промышленных станций и перерабатывающего 2-3 тыс. вагонов в сутки, составляют 70-80 млн руб. или более 20% от общих затрат, связанных с простоем вагонов [1], а суммарные потери, возникающие в результате несогласованного взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта, достигают до 1,5 млрд руб. в год.

Основные причины возникновения таких потерь связаны с [2]:

- рассогласованием графиков подвода вагонов и грузов на предприятие и фактической потребности в них;
- нерациональным выбором маршрута движения вагонопотоков на путях необщего пользования;
- неоптимальным использованием порожних вагонов на предприятии;
- недостаточным взаимодействием в оперативном режиме железнодорожных станций по пропуску и переработке вагонопотоков.

В таких условиях требуется совершенствование существующей методологии организации взаимодействия производства и транспорта, обеспечивающих непосредственное транспортное обслуживание грузовладельцев. Такая методология должна основываться не только на современных достижениях в технологии и организации железнодорожных перевозок, но и учитывать экономические и информационные факторы и ограничения, возникающие в процессе взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта.

### **Логистическое представление системы управления транспортом промышленных предприятий**

Эффективной формой организации взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта являются транспортно-технологические системы (ТТС), основанные на системной реализации разноуровневых функций управления перевозочным процессом, включающих в себя [5]: техническую эксплуатацию транспортных средств и устройств; регулирование технологических процессов на уровне отдельных грузовых фронтов, промышленных железнодорожных станций и маневровых районов; организацию вагонопотоков на путях необщего пользования; взаимодействие с магистральным транспортом на полигоне примыкания; развитие инфраструктуры ТТС на региональном и национальном уровнях. Выделение уровней ТТС основано на группи-

\* Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант № 15-37-51307

ровке функций управления перевозочным процессом, а также на оценке величины риска, связанного с выбором нерациональных управленческих решений на том или ином уровне.

К техническому уровню отнесены функции управления ТТС, обеспечивающие достижение параметров транспортно-логистических потоков, определенных на более высоких уровнях организации. Такие функции характерны для подсистемы ремонтов, осуществляющей техническое обеспечение перевозочного процесса, а также участков непосредственного взаимодействия различных видов транспорта и обслуживаемого производства на грузовом фронте или терминале.

К технологическому уровню отнесены функции управления ТТС, обеспечивающие изменение параметров перевозочного процесса с целью сокращения транспортно-складских (логистических) издержек при изменениях мощности вагонопотоков. Такие функции реализуются на участках транспортного обслуживания нескольких грузовых фронтов (грузовая или промышленная железнодорожная станция) или нескольких технологически или территориально связанных производств.

На организационном уровне реализуются функции изменения организации перевозок, а также разработки стратегии развития ТТС. К организационному уровню отнесены железнодорожные пути необщего пользования и железнодорожные транспортные узлы.

На социально-экономическом уровне реализуются функции развития транспортно-логистической инфраструктуры в рамках региона или страны, а также мониторинг взаимовлияния социально-экономических факторов и уровня развития транспортно-логистической инфраструктуры. К социально-экономическому уровню организации ТТС отнесены региональные транспортно-технологические системы как совокупность системы магистрального железнодорожного транспорта и промышленного железнодорожного транспорта региона, а также макрологистические ТТС, представляющие собой организованную совокупность грузоотправителей, грузополучателей и транспорта вдоль струй материальных логистических потоков.

Разнообразие функций управления функционированием ТТС на разных уровнях, противоречивость критериев выбора оптимальных решений, необходимость переработки большого объема данных делает актуальной задачу обоснования рационального состава и структуры интеллектуальной транспортной системы в составе информационной системы ТТС.

Исследования в области применения различных математических методов и моделей при планировании и организации транспортного процесса, выполнен-

ные в период с 1960-х до начала 1990-х [2,3] позволили сформировать методологическую базу управления транспортными потоками в интегрированных транспортных системах. В настоящее время активно проводятся исследования [2], посвященные вопросам совершенствования и практического использования методов формирования и функционирования интеллектуальных транспортных систем.

Однако современный этап развития интеллектуальных систем на транспорте характеризуется ориентацией на штатное (в соответствии с запланированной схемой) или оперативное нештатное (путем выбора из множества вариантов запланированных схем) управление транспортными потоками [1]. При этом функциональная и физическая архитектура современных интеллектуальных транспортных систем в недостаточной степени поддерживает принятие решений в экстренных ситуациях (ситуационное управление), не предусмотренных запланированными схемами. Ещё одним существенным недостатком современных интеллектуальных транспортных систем на транспорте является фрагментарность выполняемых функций и решаемых задач, недостаточная системность управления перевозочным процессом на различных организационных уровнях.

В таких условиях требуется совершенствование существующих подходов к формированию интеллектуальных транспортных систем, в частности, на промышленном железнодорожном транспорте, на основе комплексного рассмотрения разнообразных функций управления перевозочным процессом.

#### **Состав математического обеспечения интеллектуальных транспортных систем промышленных предприятий**

Требования к техническому обеспечению перевозочного процесса и качеству грузовых перевозок являются параметрами транспортно-логистических потоков на низших организационных уровнях ТТС. Эти требования корректируются с учетом транспортных затрат и используются для организации и управления перевозочным процессом на III-V организационных уровнях (табл. 1). Однако условия для организации функционирования ТТС по критерию минимума суммарных транспортно-складских затрат создаются только на высших организационных уровнях, поскольку только при наличии устойчивых организационных, информационных и финансово-экономических связей между элементами ТТС возможна реализация разработанного комплекса транспортно-логистических методов и моделей [4,5].

Локальные критерии оптимальности для каждого уровня организации ТТС подчинены глобальному оп-

тимуму – минимуму доли логистических затрат в себестоимости готовой продукции, что обеспечивается минимизацией размера транспортно-грузовой партии.

#### **Обобщенная математическая модель оптимизации параметров логистических потоков в транспортно-технологических системах**

В основу обобщенной математической оптимизационной модели для ТТС положена идея возможности достижения баланса между потребностями грузовладельцев уменьшать размеры запасов и транспортных партий, с одной стороны, и уровнем использования резервов пропускной способности и вместимости транспортных устройств (фактически, транспортных затрат), с другой. При этом определяющим фактором в таком балансе выступают потребности грузовладельцев, а возможности транспорта следует рассматривать в качестве ограничений. Такая модель должна определять оптимальную структуру всех логистических потоков по критерию обеспечения заданной структуры и интенсивности выходных потоков (соответствующих заданным требованиям к качеству грузовых перевозок), с учетом существующих ограничений на запасы финансовых ресурсов (ограничение по затратам) и информационных ресурсов (возможности информационной системы).

Практическое использование такой модели в составе информационно-управляющих систем в оперативном режиме на низших уровнях организации ТТС позволит выбирать технологические способы управления перевозочным процессом, а также определять параметры этих способов. На стратегическом уровне управления – на более высоких уровнях организации ТТС такая модель может применяться для выявления и устранения ограничений динамического баланса, т.е. «узких» мест, не позволяющих обеспечить потребный уровень качества грузовых перевозок. К таким ограничениям также относятся инфраструктурные ограничения ТТС, поэтому модель динамического баланса может использоваться для оценки и обоснования инвестиционных решений по развитию ТТС.

#### **Комбинированная аналитико-имитационная модель интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия**

Разработанная модель представляет собой комбинацию системно-динамических (поточковых) и дискретно-событийных имитационных моделей с комплексом оптимизационных моделей. Системно-динамическая часть разработанной модели позволяет оценивать пропускную способность и вместимость транспортных устройств при различных параметрах вагонопотоков в системе. Модельные значения потоков предлагается использовать в качестве исходных

данных для дискретно-событийной модели технологии работы железнодорожных станций ТТС. При помощи дискретно-событийной модели железнодорожных станций ТТС описываются технологические способы, реализуемые в рамках разработанного комплекса транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС (рис. 1).

В качестве программного продукта, реализующего различные подходы к имитационному и математическому моделированию в рамках одной комбинированной аналитико-имитационной модели, целесообразно использовать систему AnyLogic [6]. Данная система имитационного моделирования объединяет три известных подхода к имитационному моделированию – системно-динамический, дискретно-событийный и агентный. Для решения оптимизационных моделей в разработанной модели используется механизм интеграции в имитационную модель внешних библиотек программ линейной и нелинейной оптимизации, а также встроенный инструмент комбинаторной оптимизации. Система AnyLogic обеспечивает взаимодействие разработанной комбинированной аналитико-имитационной модели с базами данных существующих информационных систем.

#### **Методические основы формирования интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия**

Общий алгоритм предлагаемой методики предусматривает построение на каждом уровне организации ТТС комбинированной аналитико-имитационной модели, которая используется для оценки возможностей реализации соответствующего метода организации функционирования ТТС, расчета изменяющихся параметров перевозочного процесса и элементов ТТС, а также для определения необходимых затрат финансовых и информационных ресурсов. В результате решения модели на каждом вышестоящем уровне организации ТТС определяются требования к параметрам транспортно-логистических и ресурсных потоков на нижестоящих уровнях. Для проверки возможности соблюдения этих требований производятся соответствующие расчеты на моделях систем нижних уровней.

Полученные от моделей разных уровней данные используются для решения комбинированной аналитико-имитационной модели интеллектуальной транспортной системы (рис. 1), учитывающей ограничения по глобальным ресурсным потокам. В результате такой глобальной оптимизации производится корректировка параметров транспортно-логистических потоков на каждом уровне организации. Результатом расчетов с использованием данной методики является согласованный стратегический план (целевые программы) развития ТТС. Этот план определяет состав работ и



Рис. 1. Схема взаимосвязи блоков комбинированной аналитико-имитационной модели ТТС

этапность не только усиления пропускной способности и вместимости инфраструктурных элементов ТТС, но и необходимость реализации разработанных методов организации функционирования ТТС, в результате чего обеспечивается целенаправленное повышение уровня организации ТТС.

Основными исходными данными, необходимыми для выполнения расчетов по моделям являются: величины пропускной, перерабатывающей способности и вместимости элементов ТТС; параметры транспортно-логистических потоков – их интенсивность, структура, показатели неравномерности и т.п.; содержание информационных потоков – графики движения, планы формирования поездов, требования к своевременности перевозок, показатели уровня социально-экономического развития региона и т.д.; интенсивность финансовых потоков – фактические затраты на функционирование ТТС и плановые (минимальные) размеры инвестиций в развитие инфраструктуры ТТС.

Разработанная методика формирования комплексной интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия основана на последовательной реализации транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС (табл. 1):

1. Оценка эффективности существующей системы ремонтов, оптимизация ресурсов в системе ремонтов и расчет максимального уровня надежности технических средств и устройств, который способен обеспечить система ремонтов при имеющихся запасах ресурсов;
2. Расчет оптимальных размеров транспортно-грузовых партий для всех грузовых фронтов исследуемой системы. При этом производится идентификация фактического уровня организации, на котором находится исследуемая ТТС, и корректировка величины транспортных затрат, на основании которых производится расчет величины оптимальной транспортно-грузовой партии. Помимо транспортных затрат, корректируются складские затраты, если ТТС находится на IV уровне организации, и определены требования к своевременности перевозок;
3. Составление оперативного плана распределения вагонов по грузовым фронтам, учитывающего сложность структуры вагонопотоков и уровни загрузки промышленных железнодорожных станций. Определение требований к информационным потокам (информационной системе), обеспечивающим сбор и

Таблица 1. Комплекс транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС

Уровень организации ТТС (основной элемент уровня)	Метод управления (транспортно-логистический метод)	Критерий оптимальности и краткая характеристика метода
I. техническое обеспечение перевозочного процесса (технические средства и устройства)	оптимальное распределение ресурсов в системе ремонта в соответствии с потребностями в исправной технике	минимум прироста отказов технических средств и устройств
II. непосредственное взаимодействие различных видов транспорта, транспорта и обслуживаемого производства (грузовой фронт)	оптимизация размера транспортно-грузовой партии	минимум суммарных транспортно-складских затрат в зависимости от выбранного типа системы управления запасами
III. транспортное обслуживание нескольких грузовых фронтов (железнодорожная станция)	оптимизация распределения вагонов по грузовым фронтам	минимум транспортных затрат на выполнение заявок по подаче-уборке вагонов
IV. транспортное обслуживание нескольких технологически связанных производств одного предприятия или нескольких территориально близких предприятий (железнодорожный район)	методы «структурной технологии» (оптимизация загрузки пропускной способности и вместимости транспортных устройств)	минимум транспортных затрат за счет оперативного выравнивания величин пропускной способности и вместимости транспортных устройств путем применения системы технологических способов «структурной технологии»
V. железнодорожные пути необщего пользования промышленного предприятия или их совокупность, обслуживаемых одним ППЖТ (железнодорожный путь необщего пользования)	оптимизация маршрутов движения вагонопотоков	минимум транспортных затрат на продвижение вагонопотоков в результате его пропуска по станциям с более низким оперативным уровнем использования пропускной способности
VI. железнодорожный транспортный узел	оптимизация структуры вагонопотоков	минимум транспортных затрат и потерь у клиентов транспорта в результате изменения скорости продвижения отдельных групп вагонов путем изменения состава формируемых в транспортном узле поездов
VII. региональная ТТС	оптимизация усиления пропускной и перерабатывающей способности элементов региональных ТТС	минимум суммарных региональных транспортно-производственных затрат в результате последовательного развития транспортной инфраструктуры региона
VIII. макрологистическая ТТС	оптимизация размещения элементов макрологистической ТТС	минимум доли логистических затрат в себестоимости продукции в результате рационального размещения элементов макрологистической ТТС

передачу информации о дислокации вагонов на промышленных железнодорожных станциях, потребностях грузовых фронтов в вагонах и грузах, данных о поездах, движущихся по контактному графику и маневровым порядком, а также данных о факторах, влияющих на уровень загрузки пропускной способности станций. Определение требований к финансовым потокам – размерам материального стимулирования маневровых диспетчеров и дежурных по станциям в зависимости от сложности структуры вагонопотока, перерабатываемого на каждой станции;

- Выбор оптимальной последовательности реализации способов структурной технологии. Определение требований к усилению пропускной способности и вместимости элементов ТТС, необходимой для выполнения заданных требований к своевременности грузовых перевозок при заданной (фактической) интенсивности, структуре и неравномерности грузо- и вагонопотоков в системе;
- Оценка уровня загрузки промышленных железнодорожных станций путей необщего пользования и расчет оптимальных маршрутов продвижения вагонопотоков. Определение требований к развитию

пропускных и перерабатывающих способностей станций и перегонов;

- Оптимизация структуры вагонопотоков в железнодорожном транспортном узле путем перераспределения объемов сортировочной (маневровой) работы между станциями узла. Оценка возможностей информационной системы по сбору и обработке данных, необходимых для расчета коэффициента срочности вагонопотоков, а также для координации действий по перераспределению объемов сортировочной работы в узле, определение необходимых инвестиций в развитие информационной системы;
- Оценка уровня пропускной и перерабатывающей способности элементов транспортной инфраструктуры региона, выбор способов усиления пропускной и перерабатывающей способности, оценка эффективности выбранных способов, их ранжирование по величине эффективности и определение этапности реализации;
- Оценка и мониторинг показателей социально-экономического развития регионов размещения элементов макрологистической ТТС, выбор мест размещения элементов ТТС.

Как видно из представленной последовательности, разработанная методика основана на идее первоочередной реализации менее затратных организационных и технологических мероприятий, суть которых заключается в перераспределении имеющихся резервов пропускной и перерабатывающей способности транспортных устройств.

#### **Заключение**

Предлагаемый комплексный подход к формированию и функционированию интеллектуальной транспортной системы, основанный на использовании комбинированной аналитико-имитационной модели ТТС в совокупности с транспортно-логистическими методами организации функционирования железнодорожных ТТС позволяет повысить эффективность взаимодействия производства и транспорта в условиях усложнения структуры грузопотоков и роста требований к качеству грузовых перевозок.

Основное отличие разработанной аналитико-имитационной модели интеллектуальной транспортной системы промышленного предприятия от известных заключается в использовании различных подходов к имитационному моделированию в рамках одной модели ТТС, что позволяет моделировать функционирование ТТС на всех уровнях организации этих систем, разрабатывать стратегии повышения уровня организации ТТС. Разработанная комбинированная анали-

тико-имитационная модель позволяет оптимизировать параметры транспортно-логистических потоков в ТТС, а также выбрать рациональную последовательность способов и методов организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем.

#### **Литература**

1. Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А., Копылова О.А., Мишкурлов П.Н. Интеллектуализация транспортного обслуживания промышленных предприятий // *Сталь*. 2014. №4. С.115-118.
2. Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives / Sladkowski A., Pamula W. Publisher: Springer International Publishing. 2016. 303 p.
3. Hasan S.F., Siddique N., Chakraborty S. Intelligent Transport Systems: 802.11-based Roadside-to-Vehicle Communications. 2013. Springer. 157 p.
4. Ключевая роль транспорта в современном мире: монография / А. Л. Блохин, К. Ф. Боряк, Т. В. Коваленко и др. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2013. – 163 с.
5. Рахмангулов, А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: монография / А.Н. Рахмангулов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 300 с.
6. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. 2013.

