

Анисимов Вл. А.

д.т.н., проф.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

Гончарук С.М.,

д.т.н., проф.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

Лебедева Н.А.

к.т.н., доц.

Международный гуманитарный Университет, г. Одесса

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА ПРОЕКТНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ РАЗВИТИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И МОЩНОСТИ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В статье представлена разработанная авторами математическая постановка и созданная на ее основе методика формирования исходного множества возможных проектных альтернатив этапного развития мультимодальной транспортной сети (МТС) с учетом изменения структуры и мощности ее элементов (станций, звеньев различных видов транспорта, транспортных узлов и т. д.).

Ключевые слова: Мультимодальная транспортная сеть, исходное множество альтернатив, интегральный эффект, структура, мощность.

Введение. Для обеспечения конкурентоспособности перевозимых товаров и ресурсов на мировом рынке необходимо создать в стране высокоэффективный рынок транспортных услуг. Как известно, для решения такой проблемы наиболее важными задачами в развитии структуры и мощности мультимодальной транспортной сети (МТС) являются:

- увеличение скорости доставки грузов и пассажиров;
- обеспечение сохранности грузов;
- сокращение величины тарифов.

В свою очередь, эти задачи должны решаться с учетом эффективной политики взаимодействия маркетологов транспорта со службами маркетинга предприятий добывающей промышленности и производителей товарной продукции. Взаимная заинтересованность позволит разработать правильные стратегические направления развития транспорта

и промышленности. При этом следует помнить, что для реализации перечисленных выше задач, необходимо анализировать множество возможных альтернатив изменения структуры и мощности МТС и ее элементов, а для этого необходимо создавать инструментарий, позволяющий работать с большим количеством мероприятий, являющихся основой для формирования множества альтернатив, моделировать процессы развития МТС, разработать математическую постановку и методику работы с этими моделями.

Решая перечисленные выше задачи, следует учитывать, что в настоящее время появились дополнительные сложности связанные с тем, что проведение реформ в экономике страны, в том числе и в транспортной отрасли, выдвинуло на передний план вопросы повышения надежности и рентабельности работы мультимодальной сети в условиях, когда в результате падения объемов перевозок ее элементы стали работать с большими резервами мощности. Решение данных вопросов связано с необходимостью пересмотра технологии и параметров перевозочного процесса, что вызывает изменение облика и мощности элементов МТС (станций, узлов, звеньев, портов и др.). Особенно наглядно это представлено на железнодорожном транспорте. Проведенный в работах авторов [1; 2; 3] анализ практического опыта внедрения в последние годы на сети железных дорог России новых технологий перевозок, связанных с увеличением массы поезда, длин участков обращения

локомотивов и бригад, гарантийных плеч пробега вагонов и направленных на снижение транспортных издержек, показал, что во многих случаях изменения станций, звеньев и узлов привели к обратному эффекту. Такой результат получен из-за отсутствия научной и технико-экономической основы, необходимой для принятия решений по подготовке к внедрению оптимальной эксплуатационной модели МТС с учетом региональных особенностей. Учитывая изложенное, становится очевидным, что необходимо создать инструментарий, позволяющий с достаточной точностью и в приемлемое время на элементах и МТС в целом решать оптимизационные задачи по ее комплексному развитию с учётом изменения структуры и мощности элементов.

Таким образом, для решения проблемы развития МТС в условиях реформирования экономики страны необходима модификация существующей методологии проектирования развития транспортных систем с целью адекватного отражения в ней особенностей работы элементов сети, изменения их структуры и мощности. Генеральная стратегия действий по созданию модифицированной методологии предложена в концепции проектирования комплексного развития МТС с учетом изменения облика и мощности станций и узлов.

На основе системного подхода и формальной логики в концепции [2, 3] уточнены существующие и приведены новые понятия, используемые при описании методологии. В соответствии с принципами научно-обоснованной инженерной подготовки производства, обеспечивающей безопасное, надежное и эффективное функционирование и развитие мультимодальной транспортной сети во взаимной увязке с планами социально-экономического развития страны и ее регионов, определены основные этапы проектирования комплексного развития МТС и задачи, заключающиеся в разработке моделей, методов, методик, алгоритмов, программ и др. инструментов, необходимых для решения рассматриваемой проблемы.

Постановка задачи. На основе, приведенной в работах [1; 2; 3] теоретико-множественной модели задачи создания проектных альтернатив этапного перспективного развития МТС, разработать математическую постановку и методику формирования исходного их множества.

Анализ публикаций. В работах авторов [1; 2; 3] приведен детальный анализ публикаций, затрагивающий прямо или косвенно проблемы формирования эффективных альтернатив (стратегий, вариантов) развития структуры и мощности мультимодальной транспортной сети (МТС), и ее элементов МТК, МТУ, МТЗ (коридоров, узлов, звеньев). Наибольший интерес по теме данной

публикации представляют работы [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9].

Цель исследования. Целью настоящего исследования является совершенствование методики формирования исходного множества возможных альтернатив развития мультимодальной транспортной сети с учетом изменения структуры и мощности ее элементов (станций, узлов, портов, звеньев).

Содержание исследования. Формализация задачи формирования проектных альтернатив комплексного развития МТС с учетом изменения структуры и мощности звеньев, станций и узлов завершается её математической постановкой в рамках расчетного случая.

Далее, по аналогии с работами авторов [1, 2], рассмотрим математическую постановку и методику, с учетом декомпозиции МТС для МТЗ и МТУ железной дороги, как элементов МТС.

Для заданного МТК и его элементов МТЗ и МТУЖД установлены следующие исходные условия:

- существующий на начало расчетного периода облик МТЗЖД S^0 , его станций $\{S_{st_{i,j}}^0\}$, участков работы локомотивных бригад $\{S_{urb_{i,jst_{i,j}}}^0\}$ и технические параметры постоянных устройств и сооружений отдельных пунктов и перегонов, входящие в подмножество P_z ;
- обусловленные сценариями социально-экономического развития региона объём привлеченных инвестиций $K_n(t)$, распределённый во времени, и варианты загрузки участков и станций МТК $\{\Gamma_n^v(t) | v \in V_{\Gamma_n}\}$ $\Gamma_n^v(t) = \{\Gamma_n^{o(v)}(t) | o \in ST \vee o \in URB\}$ потребными объемами перевозок на начало расчетного периода и перспективу с учетом сложившихся транзитных потоков грузов, объемов местной работы и технологических параметров перевозочного процесса;
- технологические параметры перевозочного процесса: унифицированные длины гружёных L_{ep} и порожних L_{nop} поездов, унифицированный вес поезда Q_{ep} , максимальные длины участков обращения локомотивов $L_{урл}^{max}$ и бригад $L_{урлб}^{max}$, максимальная длина гарантийного плеча безотказной работы вагонов $L_{звб}^{max}$ на магистралях (звеньях) МТКЖД;
- отраслевые задания по сокращению времени доставки грузов $\Delta t_{\partial(ep)}^{zad}(t)$ и пассажиров $\Delta t_{\partial(nc)}^{zad}(t)$, сокращению времени оборота вагонов $\Delta t_{\partial}^{zad}(t)$, среднесуточной производительности локомотивов $\omega_{л}^{zad}(t)$;
- проблемные участки работы локомотивных бригад $URB_{pr} \subseteq URB$ и станции $ST_{pr} \subseteq ST$, на которых имеется ухудшение фактических показателей работы и несоответствие их величин заданным на перспективу значениям, постоянные устройства и сооружения с отклонениями технических параметров

от нормативных и паспортных значений, влияющими на снижение мощности, надежности и качества функционирования объектов, выявленные по данным комплексного мониторинга технического состояния и работы объектов МТКЖД.

Для указанных исходных условий необходимо сформировать *исходное множество возможных проектных альтернатив изменения облика и мощности участков, узлов и станций МТК* $\Omega_{ИМА} = \{M_{i_a}^{o(v)} \mid v \in V_{\Gamma} \wedge (o \in ST \vee o \in URB)\}$, определить для каждой проектной альтернативы $M_{i_a}^{o(v)}$ траекторию изменения технического состояния объекта МТК $S_{i_a}^{o(v)}(t, \Gamma_n^v(t), M_{i_a}^{o(v)})$ и соответствующие ей показатели по годам расчетного периода: пропускную $N_{zp}^{o(v)}(t)$ и провозную $\Gamma^{o(v)}(t)$ способность объекта, коэффициент его готовности $K_z^{o(v)}(t)$ к освоению $\Gamma_n^{o(v)}(t)$, инвестиции на его развитие $K^{o(v)}(t)$, эксплуатационные расходы $C^{o(v)}(t)$, поезд-часы задержек из-за отказов в его работе $PH^{o(v)}(t)$, сокращение времени доставки грузов $\Delta t_{\partial(zp)}^{oad}(t)$ и пассажиров $\Delta t_{\partial(nc)}^{o(v)}(t)$, сокращение времени оборота вагонов $\Delta t_{\partial(nc)}^{o(v)}(t)$ и среднесуточную производительность локомотивов $w_{\Pi}^{o(v)}(t)$, при этом должны выполняться условия (1) и (2), приведенные в работе авторов [1] и следующие ограничения (3 – 9).

В настоящей работе мероприятие по изменению структуры (облика) и мощности объекта РСЖД определено как комплекс действий и технологий по изменению технического состояния объекта РСЖД, направленных на достижение поставленных целей Z , обусловленных сценарием социально-экономического развития региона, в пределах объема привлеченных инвестиций K_n

$$\Delta \mathcal{E}(m_{i_M}) \rightarrow Z, \quad (1)$$

$$K(m_{i_M}) \leq K_n. \quad (2)$$

$$N_{zp}^{o(v)}(t) \geq N_n^{o(v)}(t), \quad N_n^{o(v)}(t) = \frac{\Gamma_n^{o(v)}(t) \cdot \gamma \cdot 10^6}{365 \cdot \gamma_{n/бр} \cdot Q_{zp}^v}, \quad (3)$$

$$\Gamma^{o(v)}(t) \geq \Gamma_n^{o(v)}(t), \quad (4)$$

$$T_t(N_n^{o(v)}) + T_t(M_{i_a}^{o(v)}) + T_{zt}(N_n^{o(v)}) \leq 365, \quad (5)$$

$$K^{o(v)}(t) \leq K_n(t), \quad (6)$$

$$\Delta \mathcal{E}(f : M_{i_a}^{o(v)} \rightarrow S_{i_a}^{o(v)}(t)) \rightarrow \{\Delta t_{\partial(zp)}^{oad}(t), \Delta t_{\partial(nc)}^{oad}(t), \Delta t_{\partial(nc)}^{oad}(t), w_{\Pi}^{oad}(t)\}, \quad (7)$$

$$R_{i_a}^{o(v)} \subset R_M^o, \quad R_{i_a}^{o(v)} = \langle M_{i_a}^{o(v)}, \leq \rangle, \quad R_M^o = \langle M_M^o, \leq \rangle, \quad (8)$$

$$t \in [t_n, T_p] \quad (9)$$

По ограничениям (3) и (4) определяют допустимость проектной альтернативы изменения облика и мощности объекта МТК по условиям обеспечения потребных объемов перевозок.

Ограничение (5) означает, что время, необходимое в t -ом году на выполнение заданного объема перевозок подсистемами элементов МТК с учетом надежности их функционирования и потребности в технологических «окнах» для реализации мероприятий, включенных в проектную альтернативу изменения его облика и мощности, не должно превышать продолжительность года.

Условие (6) задает ограничение по инвестициям, а (7) определяет, что эффективность проектной альтернативы изменения облика и мощности объекта должна быть направлена на выполнение отраслевых заданий.

Ограничение (8) обеспечивает формирование проектной альтернативы с учетом технологических отношений между возможными мероприятиями изменения облика и мощности объекта.

В соответствии с функциональной и информационной моделями системы информационного обеспечения проектирования развития МТС, приведенными в работах [4, 5], а также теоретико-множественным представлением модели мультимодальной сети железных дорог и понятий «*техническое состояние объекта МТС*», «*мероприятие по изменению их облика и мощности элементов МТС*» и «*проектная альтернатива развития МТС*» предлагается следующая последовательность решения поставленной задачи:

1. Для формирования альтернатив облика элементов МТС по каждому варианту распределения потребных объемов перевозок $\Gamma_n^v(t)$ в зависимости от структуры поездопотоков, технологических параметров перевозочного процесса, существующего облика и мощности объектов определяют возможные варианты расположения участковых и сортировочных станций звеньях МТК, как составных элементов МТС.

2. Для каждого варианта расположения участковых и сортировочных станций на звеньях МТК назначают возможные организационно-технологические мероприятия M_{om} (увеличение веса поезда, изменение способов организации работы локомотивных бригад на УРЛБ, типов графиков движения поездов, нормативов и графиков технологических процессов обработки и обслуживания поездов на станционных путях, количества маневровых средств и их специализации, контингента работников на станциях и т. п.) и соответствующие им варианты изменения параметров облика станций, удовлетворяющие условиям (1) и (2).

3. По вариантам расположения участковых и сортировочных станций на звеньях МТК, учитывая

допустимые по условиям (1) и (2) организационно-технологические мероприятия M_{om} , определяют варианты расположения пунктов для обгона грузовых поездов на УРЛБ, соответствующие им изменения параметров облика отдельных пунктов и завершают формирование множества возможных альтернатив облика станций и узлов МТС.

4. Для каждой альтернативы облика элементов МТС устанавливаются участки работы локомотивных бригад и назначают возможные варианты мероприятий M_p по наращиванию (увеличению) мощности проблемных участков и станций, имеющих недостаточную пропускную и провозную способность для освоения потребных объемов перевозок $G_n^v(t)$ в течение расчетного периода времени. Допустимость назначенных мероприятий оценивается с помощью сбалансированной системы показателей по пропускной и провозной способности объектов МТС. Для формирования проектных альтернатив изменения облика и мощности объектов МТС принимаются мероприятия удовлетворяющие условиям (1) и (2).

Множество M_p можно разбить на следующие подмножества мероприятий:

- новое строительство $M_p^{нс}$: строительство новой линии; открытие отдельных пунктов; увеличение главных путей; строительство новых станционных устройств (парков, сортировочных горок, пунктов технического осмотра подвижного состава, локомотивных и вагонных депо и т.д.);

- реконструкция $M_p^{рек}$: удлинение приёмноотправочных путей; увеличение числа путей в парках; реконструкция стрелочных горловин, сортировочных устройств; реконструкция плана и профиля участков пути, крупных искусственных сооружений (мостов, тоннелей и т.п.), земляного полотна;

- техническое перевооружение $M_p^{тп}$: смена вида тяги, типа поездного локомотива, средств СЦБ и связи;

- обновление и модернизация основных фондов $M_p^{мф}$: смена типа верхнего строения пути; модернизация устройств энергоснабжения, СЦБ и связи; модернизация устройств для грузовой и пассажирской работы, ремонта, технического обслуживания и экипажировки подвижного состава и т.д.

На этом этапе для каждого объекта МТС между мероприятиями по увеличению его мощности устанавливаются технологические отношения R_o^m по взаимному влиянию на его пропускную и провозную способность.

5. Назначают возможные варианты мероприятий M_c по поддержанию основных фондов региональной сети в рабочем состоянии для УРБЛ и станций, имеющих ухудшение фактических показателей работы и постоянные устройства и сооружения

с отклонениями технических параметров от нормативных и паспортных значений, влияющими на снижение мощности объектов, их надежности и качества функционирования. К этим мероприятиям относятся ремонты постоянных устройств и сооружений: текущий, средний, капитальный и пр.

6. Из мероприятий, входящих во множества M_{om} , M_p и M_c и удовлетворяющих условиям (1) и (2), формируется множество возможных мероприятий по изменению облика и мощности объектов МТС M_g , стоимость которых не превышает объем привлеченных инвестиций K_n , а эффективность направлена на достижение поставленных целей Z (обеспечение потребных перевозок и выполнение отраслевых заданий), обусловленных сценарием социально-экономического развития региона.

7. Множество назначенных мероприятий M_g разбивают на подмножества M_g^o по объектам и альтернативам облика станций и узлов МТС.

8. Внутри каждого подмножества M_g^o между мероприятиями устанавливают технологические отношения R_m^o , с помощью которых определяется их совместимость, обусловленность и последовательность реализации в течение расчетного периода времени T_p . Технологические отношения R_m^o определяются в зависимости от типа мероприятий, их расположения на объекте и возможных исполнителей.

9. Для каждого объекта МТС с учетом технологических отношений R_m^o из подмножеств M_g^o формируются подмножества возможных мероприятий $M_{ia}^{o(v)}$, которые представляют собой комплексные планы мероприятий по изменению его облика и мощности и технологий их реализации. Допустимость подмножества $M_{ia}^{o(v)}$ определяется условиями (3) – (9).

С целью сокращения числа рассматриваемых вариантов решения задачи по объектам МТС формируются начальные проектные альтернативы изменения их облика и мощности $\{ M_{ia}^{o(v)} \mid M_{ia}^{o(v)} \in \Omega_{ИМА}, i_{a(0)} \in \{1, 2, \dots, n_a\} \}$, которые включают в себя все возможные мероприятия, обеспечивающие безопасность перевозочного процесса, при этом показатели работы объектов не должны ухудшаться.

При дальнейшем формировании ИМА изменения облика и мощности объектов МТС включение мероприятий в проектные альтернативы осуществляется в следующем порядке:

- мероприятия, позволяющие повысить мощность (пропускную и провозную способность) объектов МТС до заданного значения;

- мероприятия, позволяющие сократить время доставки грузов и пассажиров, уменьшить время оборота вагонов, повысить суточную производительность локомотивов;

— мероприятия, позволяющие снизить эксплуатационные расходы при выполнении заданных технико-эксплуатационных показателей работы объекта (мощности, надежности и качества).

10. Для каждой сформированной проектной альтернативы изменения облика и мощности конкретного объекта МТС $M_{i_a}^{o(v)}$ устанавливается траектория изменения его технического состояния $S_{i_a}^{o(v)}(t) = \{ s_{i_a}^{o(v)}(t) \}$.

11. По траектории изменения технических состояний объекта МТС $S_{i_a}^{o(v)}(t) = \{ s_{i_a}^{o(v)}(t) \}$ с помощью ССП определяются показатели его работы, используемые для оценки соответствующей проектной альтернативы $M_{i_a}^o$ и её проверки на допустимость.

Назначение мероприятий по изменению облика и мощности объектов МТС производится на основе применения экспертных процедур, моделирования, морфологического и иерархического анализа с использованием модулей программно-технического комплекса проектирования развития РСЖД с учетом изменения облика и мощности станций и узлов. Подробное описание указанных методов приведено в [3, 7].

Выводы. Применение разработанной методики позволяет построить в рамках определённого расчетного случая исходное множество возможных проектных альтернатив изменения облика и мощности объектов МТС, из которого в дальнейшем формируется эффективная их область для принятия решений по комплексному развитию мультимодальной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности ее элементов. Предлагаемая методика позволяет формировать исходное множество возможных проектных альтернатив изменения облика и мощности объектов МТС (участков работы локомотивных бригад, участковых и сортировочных станций) с учетом: 1) возможных вариантов распределения объемов потребных перевозок по объектам МТС; 2) возможных альтернатив изменения облика и мощности станций и узлов МТС; 3) сложившихся транзитных грузопотоков и объемов местной работы; 4) технологических параметров перевозочного процесса на магистралях, линиях и участках. При этом, для сокращения числа рассматриваемых вариантов решения решаемой задачи используются: декомпозиция облика МТС; принцип задания начальных условий, которые обеспечивают требуемый уровень безопасности перевозочного процесса; технологические отношения между мероприятиями.

Литература

1. Анисимов Вл.А., Гончарук С.М. Основы теории формирования проектных альтернатив развития региональной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности станций и узлов / Вл.А. Анисимов, С.М. Гончарук. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005. — 59 с. — (препринт № 57.)
2. Гончарук С.М. Методологические основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети : монография / Вл.А. Анисимов, С.М. Гончарук, Н.А. Лебедева, Н.С. Нестерова. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. — 227 с.
3. Анисимов Вл.А. Теория и практика проектирования развития региональной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности станций и узлов: дисс. д-ра техн. наук : 05.22.03 / Вл.А. Анисимов. — Хабаровск : ДВГУПС, 2005. — 380 с.
4. Анисимов Вл.А. Система информационного обеспечения проектирования комплексного развития региональной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности станций и узлов (функциональная модель) / Вл.А. Анисимов. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004. — 36 с. — (Препринт № 55)
5. Анисимов Вл.А. Система информационного обеспечения проектирования комплексного развития региональной сети железных дорог с учетом изменения облика и мощности станций и узлов (модель данных) / Вл.А. Анисимов. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004. — 43 с. — (Препринт № 56)
6. Гончарук С.М. Принятие решений при проектировании облика и мощности сети железных дорог (системный подход) / С.М. Гончарук, А.В. Гавриленков, В.С. Шварцфельд. — Часть 1. Методология формирования альтернатив облика и мощности сети железных дорог с учетом надежности её функционирования : монография. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. — 178 с.
7. Шварцфельд В.С. Принятие решений при проектировании облика и мощности сети железных дорог (системный подход) / В.С. Шварцфельд, С.М. Гончарук. — Часть 2. Поддержка принятия решений по проектированию облика и мощности сети железных дорог на основе геоинформационной аналитической системы : монография : в 3-х ч. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. — 224 с.
8. Гончарук С.М. Принятие решений при проектировании облика и мощности сети железных дорог (системный подход) / С.М. Гончарук, В.С. Шварцфельд. — Часть 3. Оценка проектных альтернатив облика и мощности сети железных дорог для принятия решений : монография. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. — С. 152.
9. Быков Ю.А. Проблемы проектирования облика и мощности сети новых железных дорог и пути их решения (системный подход) : монография / Ю.А. Быков, С.М. Гончарук. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004. — 239 с.

Анісімов В.А., Гончарук С.М., Лебедева Н.А.
Математична постановка завдання і методика формування вихідної безлічі проектних альтернатив розвитку мультимодальної транспортної мережі з урахуванням зміни структури та потужності її елементів

Анотація. У статті представлена розроблена авторами математична постановка і створена на її основі методика формування вихідної безлічі можливих проектних альтернатив етапного розвитку мультимодальної транспортної мережі (МТС) з урахуванням зміни структури і потужності її елементів (станцій, ланок різних видів транспорту, транспортних вузлів і т. д.).

Ключові слова: Мультимодальна транспортна мережа, вихідна безліч альтернатив, інтегральний ефект, структура, потужність.

Anisimov V. A., Goncharuk S. N., Lebedeva N. A.
Mathematical formulation of the problem and methods of forming of initial set of project alternatives of multi-modal transport network development based on changes in the structure and power of its elements

Summary. The paper addresses the issues of mathematical statement and methods of formation of the initial set of possible project alternatives of phased development of multi-modal transport network (MTS) based on changes in the structure and power of its elements (plants, parts of different modes of transport, transport hubs, etc.).

Keywords: Multimodal transport network, initial set of alternatives, cumulative effects, structure, power.