УДК 656.2.071.1

Модель решения оптимизационных задач

Петр УСТИЧ
Petr A.USTICH

Александр ИВАНОВ
Alexander A.IVANOV

Лидия ЧЕРНЫШОВА
Lydia M.CHERNYSHOVA

Устич Петр Андреевич *– доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
Иванов Александр Анатольевич *– кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*
Чернышова Лидия Михайловна *– кандидат экономических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

В статье представлены основные положения математической модели железнодорожного транспорта, обоснована целесообразность использования метода динамического программирования для оптимизации параметров состояния отрасли. Сформулированы требования к целевой функции, предложено средство превращения её в аддитивную функцию с помощью решения вспомогательной оптимизационной задачи. Доказывается необходимость в реализации новой парадигмы методики проектирования вагона, без чего невозможно эффективное использование получаемых оптимальных параметров состояния отрасли. Рассматриваемая система управления является многоуровневой и иерархической, что позволяет анализировать ту или иную проблему в проекции на локальные условия и адресные цели. Это открывает новые возможности в оценке транзитных возможностей России и создании сети железных дорог планетарного уровня с научно обоснованной системой управления. Реализация такого проекта позволит потеснить на рынке перевозок не только автомобильный и авиационный, но и морской транспорт с точки зрения сохранения экологического баланса на планете и снижения себестоимости транспортных услуг.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сложная система, параметры состояния, оптимизация, система управления, математическая модель, реформа отрасли, целевая функция, метод динамического программирования, эталонное состояние системы.

Реформирование такой сложной технико-технологической и социально-экономической системы, как железнодорожный транспорт, это прежде всего принятие цепи управляющих решений, направленных на изменение ее параметров и связей. При этом предсказать реакцию системы на вмешательство извне, полагаясь лишь на опыт и интуицию, невозможно. Необходимо средство, позволяющее вырабатывать управляющие решения, опираясь на системную методологию, формализованную в виде математической модели отрасли.

Математическая модель реформируемой системы дает возможность не только предсказывать её реакцию на то или иное действие в рамках ожидаемых перемен, но и подойти вплотную к решению одной из главных проблем транспортной науки. Речь идёт о двух связанных между собой задачах:

1. Оптимизация относительно принятого критерия параметров состояния железных дорог, которое, конечно же, далеко от эталонного и только на каком-то отрезке времени к нему станет приближаться.

2. Разработка наиболее экономически целесообразных способов приближения

состояния отрасли к эталонному в рамках реформирования и модернизации существующей системы.

Методику решения этих задач вполне уместно рассматривать в качестве своеобразного навигатора, позволяющего в огромном социально-экономическом и технико-технологическом пространстве с хаотически изменяющейся конъюнктурой цен на товары и услуги выстраивать свой «маршрут» к цели. Участники процесса должны заранее знать значения параметров эталонного состояния отрасли, ради достижения которых, собственно, и затевается реформа. Эти данные позволят точнее оценивать затраты на проведение соответствующих мероприятий и их очерёдности в рамках реформы, а также ожидаемый экономический эффект в случае успешного её завершения. Поскольку в стоимости продукции, в которой нуждается каждый гражданин, присутствует порой немалая транспортная составляющая, то эта информация может оказать положительное влияние на отношение общества к проводимой реформе, что весьма важно для успешного реформирования отрасли.

Реальная возможность приближения к цели осознается легче при наличии ориентирующей на определенные параметры развития математической модели отрасли. В этой связи желательно располагать ключевой идеей, позволяющей, так сказать, подступиться к методике разработки модельных элементов. В качестве таковой используем логически обоснованное положение, которое не требует специального доказательства [1].

Интересующие исследователей процессы с помощью одной-единственной всеохватывающей модели описать нереально. Лишь совокупность взаимосвязанных моделей основных хозяйств железнодорожного транспорта позволит учесть многообразие происходящего в отрасли.

А отсюда по понятной причине возникает необходимость в создании своеобразного базового элемента строящейся «совокупности» – так называемого «хозяйства-носителя».

Возникает вопрос: какими свойствами должно обладать то или иное хозяйство, чтобы исполнять роль носителя ключевой модельной идеи?

Поскольку посредством вагона выполняется финишная операция в технологии железнодорожного производства, то результаты работы персонала других хозяйств отражаются на показателях использования вагонов, их надёжности и безопасности. Не случайно, что с помощью такого показателя, как оборот вагона, нередко оценивается эффективность функционирования железной дороги в целом. Например, в качестве комплексного показателя эффективности реформирования отрасли в предвоенные годы использовался тот факт, что к 1940 году оборот вагона оказался в два раза меньше, чем на железных дорогах США при сопоставимых территории и объёмах перевозок.

Итак, математическую модель вагоно-линейного хозяйства (ВЛХ), ведомого вагонным хозяйством (ВХ) нового образца и вагоноремонтными компаниями (ВРК), целесообразно посчитать носителем математической модели железнодорожного транспорта. В [2] сформулированы принципы и алгоритм взаимодействия модели ВЛХ с моделями других хозяйств. Приведены также дополнительные аргументы относительно того, что модель ВЛХ может служить обозначенной цели [5].

В данном случае следует прежде всего представить эту цель в виде математического выражения, которое, как известно, принято называть целевой функцией (ЦФ) рассматриваемого объекта, то есть ВЛХ.

Предъявим два обязательных требования к целевой функции объекта. Она должна:

1.Отражать качество функционирования объекта, который на ранг выше самого моделируемого.

2.Соответствовать возможностям информационной базы отрасли.

На основе первого требования к ЦФ учитывается то обстоятельство, что система управления отраслью является многоуровневой и иерархической по своей структуре и характеру. Это позволяет планировать и осуществлять руководство ею, опираясь на дедуктивную логику, что предполагает формирование цели для руководителей в соответ-

Таблица 1/ Table 1

Параметры состояния отрасли
Transport sector's state parameters

№	Параметры	Parameters	Обозначение/ index
1	Покупная цена вагона	Wagon price when bought	$\Psi^{(1)}$
2	Ликвидная цена вагона	Liquid price	$\Psi^{(2)}$
3	Норматив затрат на деповской ремонт (ДР) вагона рассматриваемого типа	Standard cost of repairs in shed	$\Psi^{(3)}$
4	Норматив затрат на капитальный ремонт (КР) вагона рассматриваемого типа	Standard price of capital repairs	$\Psi^{(4)}$
5	Норматив затрат на текущий отцепочный ремонт (ТР) вагона	Standard price of current repairs (uncoupled)	$\Psi^{(5)}$
6	Удельные затраты на безотцепочный ТР, техническое обслуживание (ТО) и контроль технического состояния вагона на ПТО	Relative costs of repairs (coupled), technical maintenance, technical control at the points of technical maintenance	$\Psi^{(6)}$
7	Удельные затраты на подготовку вагона к погрузке	Relative costs of preparing of a wagon for loading	$\Psi^{(7)}$
8	Возрастной состав парка вагонов рассматриваемого типа	Age structure of the wagons of considered type	$\Psi^{(8)}$
9	Мощность ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа	Capacity of repair works for wagons of considered type	$\Psi^{(9)}$
10	Коэффициент технологического запаса мощности ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа	Rate of technological reserve of capacity of repair works for wagons of considered type	$\Psi^{(10)}$
11	Параметр безопасности вагона рассматриваемого типа	Safety parameter of a wagon of a considered type	$\Psi^{(11)}$
12	Оборот вагона рассматриваемого типа	Turnover of a wagon of a considered type	$\Psi^{(12)}$
13	Нижняя и верхняя границы доверительного интервала для параметра качества ДР вагона	High and low border of confident interval for a quality parameter of in-shed repairing of a wagon	$\Psi_H^{(13)}$ $\Psi_B^{(13)}$
14	Протяжённость гарантийного участка ПТО вагонов	Length of a warranty section of a point of technical maintenance	$\Psi^{(14)}$
15	Годовые издержки *k*-го хозяйства отрасли (кроме ВЛХ)	Annual expenses of *k*-department of railways (besides wagon department)	$\Psi^{(15)}$
16	Планируемый годовой объём перевозок грузов для парка вагонов рассматриваемого типа	Scheduled yearly volume of goods carriage for the stock of wagons of a considered type	$\Psi^{(16)}$
17	Среднесуточный пробег вагона рассматриваемого типа	Medium daily mileage of a wagon of a considered type	$\Psi^{(17)}$
18	Осевая нагрузка вагона	Axial load of a wagon	$\Psi^{(18)}$
19	Риск крушения поезда	Risk of a major train accident	$\Psi^{(19)}$
20	Параметр устойчивости функционирования транспорта относительно конъюнктуры рынка перевозок грузов на вагонах рассматриваемого типа	Parameter of stability of transport operations as compared to current situation of the market of goods carriage for the wagons of a considered type	$\Psi^{(20)}$
21	Тариф на транспортировку груза в вагоне рассматриваемого типа	Transportation tariff for wagons of a considered type	$\Psi^{(21)}$
22	Риск того, что интервал $\Psi_H^{(13)}$, $\Psi_B^{(13)}$ не покрывает фактическое значение показателя качества ДР вагона рассматриваемого типа.	Risk that the interval $\Psi_H^{(13)}$, $\Psi_B^{(13)}$ doesn't cover fact value of the index of the quality of in-shed repairing of wagons of a considered type	$\Psi^{(22)}$

$$f\left(l_{ij}\right)=\frac{\sum_{i=1}^{n-1}\psi_i^{(4)}+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i}\psi_{ij}^{(3)}+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i+1}\left(a_{ij}l_{ij}+b_{ij}l_{ij}^2\right)+\psi^{(1)}-\psi^{(2)}+\sum_k d_k}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i+1}l_{ij}},\qquad(1)$$

ствии с их положением в упомянутой многоуровневой иерархической структуре и подтверждает незыблемость принципа: не могут хорошо обстоять дела, в том же ВЛХ, если они плохи на железных дорогах в целом.

Относительно второго требования к ЦФ заметим, что наилучшим количественным показателем эффективности функционирования транспорта остается себестоимость единицы тонно-километровой работы. Однако существующая информационная база отрасли пока не готова к использованию такого показателя. Поэтому в качестве ЦФ допустимо на первых порах представлять себестоимость единицы пробега (СЕП) вагона в виде выражения (1), где m_i – структура i-го ремонтного цикла вагона рассматриваемого типа [4]; n – количество ремонтных циклов за срок службы вагона; $\Psi^{(1)}$, $\Psi^{(2)}$ – покупная и ликвидная цена вагона; $\Psi_{ij}^{(3)}$ – затраты на j-й деповской ремонт вагона (ДР) в пределах i-го ремонтного цикла; $\Psi_i^{(4)}$ – затраты на i-й КР; a_{ij} и b_{ij} – параметры роста затрат на текущий ремонт (ТР), техническое обслуживание (ТО) и контроль технического состояния вагона на ПТО по мере его старения; d_k – годовые издержки k-го хозяйства (кроме ВЛХ); (l_{ij}) – матрица межремонтных пробегов вагона, каждый элемент которой l_{ij} есть j-й межремонтный пробег в пределах i-го ремонтного цикла.

ЦФ (1) непосредственно или косвенно определена на параметрах, представленных в таблице 1. В соответствии с первым требованием к ЦФ параметры в таблице являются параметрами состояния, строго говоря, ВЛХ как усечённой модели всей железнодорожной отрасли.

Заметим, что ЦФ, как видно из формулы (1), определена, правда косвенно, также на параметрах состояния других хозяйств через параметр d_k. Как отмечено в [2], величина этого параметра должна соответствовать оптимальным параметрам состояния k-го хозяйства кроме ВЛХ.

Доказано, что функция многих переменных (1), которую можно представить в виде

$$\Phi\left((l_{ij}),\psi^{(1)},\psi^{(2)},\ldots,\psi^{(22)}\right),\qquad(2)$$

имеет глобальный минимум.

Наложив на параметры состояния отрасли (таблица 1) соответствующие ограничения и присоединив их к формуле (2), получим математическую модель отрасли. Требуется найти такие значения параметров, при которых функция (2) принимает минимальное значение. При этом, согласно [1], из списка оптимимизируемых параметров следует исключить безопасность вагона ($\Psi^{(11)}$), протяжённость гарантийного участка ПТО ($\Psi^{(14)}$), риск крушения поезда ($\Psi^{(19)}$) и тариф на транспортировку груза ($\Psi^{(21)}$) в вагоне определенного типа.

Первые три параметра напрямую связаны с безопасностью движения, и их, следовательно, некорректно оптимизировать относительно критериев, непосредственно влияющих на глобальный экономический показатель работы отрасли. Параметр $\Psi^{(21)}$ следует оптимизировать в рамках объекта более высокого уровня, в данном случае в рамках экономической модели РФ.

В МИИТ разработаны методы оптимизации параметров $\Psi^{(11)}$, $\Psi^{(14)}$ и $\Psi^{(19)}$, оптимальные значения которых, а также $\Psi^{(21)}$, должны быть использованы в рамках алгоритма оптимизации параметров состояния отрасли

$$\Phi\left((l_{ij}),\psi^{(1)},\psi^{(2)},\ldots,\psi^{(22)}\right)\to\min\qquad(3)$$

на правах констант. Тем самым будет обеспечено нормирование этих четырёх параметров [3].

По причинам, указанным в [7], наиболее приемлемым методом решения задачи (3) является метод динамического программирования. Однако для этого необходимо, чтобы формула ЦФ (1) была аддитивной. Для превращения её в таковую достаточно предварительно определить оптимальную матрицу межремонтных пробегов (l_{ij}) с помощью решения предложенной в МИИТ оптимизационной задачи

$$\begin{cases} f(l_{ij}) \to \min; & (4) \\ l_{ij} \le \psi^{(11)}; & (5) \\ \left| \dfrac{\psi^{(9)}}{\Pi(l_{ij})} - \psi^{(10)} \right| \le \psi^{(20)}; & (6) \\ \left. \begin{array}{l} \psi_H^{(13)} \le \dfrac{l_{1j}}{l_{11}} \le \psi_B^{(13)}, \ при\ j = \overline{2,m_1}; \\ \psi_{H_i}^{(13)} \le \dfrac{l_{ij}}{l_{i1}} \le \psi_{B_i}^{(13)}, \ при\ i = \overline{2,n},\ j = \overline{2,m_i}, \end{array} \right\} & (7) \end{cases},$$

которая может быть использована при решении задачи (3) методом динамического программирования.

Здесь $\Pi(l_{ij})$ – потребность в ДР вагонов определенного типа в течение календарного года (методика приведена в [4]).

Задачу (4) ÷ (7) можно интерпретировать также и в качестве экономической модели ВЛХ структурного типа. В подобных моделях, как отмечено в [1], в отличие от функциональных или моделей типа «чёрного ящика» (их традиционно используют экономисты) отражены элементный состав объекта и правила взаимодействия его составных частей в ходе функционирования под воздействием внешних сил. В данном случае роль внешних сил исполняет эксплуатационная среда (ЭС) вагона, имеющая следующие составляющие:

– процесс использования вагона по назначению, интенсивность которого количественно определяется величиной его оборота ($\Psi^{(12)}$) и среднесуточного пробега ($\Psi^{(17)}$);

– динамическая, статическая, климатическая и иная нагруженность вагона, интенсивность и величина которой определяется темпом накопления повреждений в материале его конструкции и которая реализуется в виде отказов вагона в случайные моменты времени;

– технический уровень предприятий ВЛХ, который количественно характеризуется мощностью ремонтного хозяйства вагонов данного типа ($\Psi^{(9)}$), себестоимостью и качеством технического содержания вагонов ($\Psi^{(13)}$), ($\Psi^{(10)}$), а также косвенно параметрами ($\Psi^{(3)}$), ($\Psi^{(4)}$), ($\Psi^{(5)}$), ($\Psi^{(6)}$) и ($\Psi^{(7)}$) (см. таблицу 1).

Эффективное использование результатов решения задачи (3), направленной на количественное описание эталонного состояния железнодорожного транспорта, будет достигнуто на практике, если вагон на этапе его проектирования впишут в эксплуатационную среду (как это принято, например, по поводу вписывания в габарит).

Парирование последствий существующей практики проектирования вагонов в дореформенный период в определённой мере осуществлялось вагонным хозяйством благодаря отработанной за многие годы системе управления техническим состоянием вагонов (УТСВ), в основе которой лежат пять связанных между собой функций:

1. Своевременное обнаружение повреждений и отказов вагонов в процессе использования их по назначению.

2. Техническое обслуживание и текущий ремонт вагонов в пути их следования.

3. Подготовка вагонов к погрузке.

4. Техническая ревизия агрегатов и ремонт вагонов крупного объёма.

5. Разработка технических требований и заказ новых вагонов, модернизация и исключение устаревших вагонов из эксплуатации.

Достигнутый по ходу реализации этих функций некий баланс в соотношении «уровень безопасности движения (БД) – затраты на техническое содержание вагонов» оказался сегодня под угрозой в результате проводимой реформы. Так, вместо одного хозяйства в системе УТСВ (ВХ старого образца) появились три независимых и не конкурирующих между собой субъекта, имеющих несовпадающие интересы. Это: ВХ нового образца, которое исполняет первые три из указанных функций; три конкурирующих между собой вагоноремонтных компании (ВРК), исполняющие четвёртую функцию, а также исполнитель пятой функции системы УТСВ – многочисленное, но не сплочённое организационно сообщество собственников вагонов. Причем дефицит сплоченности касается и научного сопровождения исполнения весьма ответственной и наукоёмкой пятой функции управления техническим состоянием дважды, так сказать, бесхозным подвижным составом. Во-первых, грузовой вагон не приписан к какому-то ремонтному предприятию и к тому же используется по назначению с учетом так называемой регулировки. Во-вторых, собственники

Таблица 2 / Table 2

Краткий анализ основных функций системы УТСВ
Brief analysis of main functions of the system of control of technical state of rail cars

Функция	Проблема	Причины	Пути решения	Эталон, к которому следует стремиться
Своевременное обнаружение повреждений и отказов вагонов в пути их следования	Обусловлена противоречиями между требованиями ПТЭ и возможностями работников ПТО обеспечить 100-процентное безаварийное проследование вагонов по гарантийному участку.	– Ограниченная или нулевая контролепригодность некоторых ответственных элементов конструкции вагона; – Осмотрщики вагонов не вооружены техническими средствами обнаружения повреждений; – Дефицит времени на осмотр вагона и тяжёлые условия работы осмотрщиков.	– Разработка эффективных технологий контроля технического состояния поездов; – Повышение квалификации и технологической дисциплины осмотрщиков; – Внедрение стационарных и переносных технических средств обнаружения повреждений; – Повышение контролепригодности вагонных конструкций в эксплуатации.	Полная автоматизация рассматриваемой функции за счёт использования: – встроенных в материал ответственных элементов конструкции вагонов датчиков, способных фиксировать их предпредельное состояние; – устройств автоматической передачи показаний этих датчиков в отраслевую компьютерную сеть.
Техническое обслуживание и текущий ремонт вагонов в пути следования	Для повышения крайне низкой производительности труда ремонтников ПТО (даже по меркам ДР) необходимо основные объёмы работ по ТР производить на пунктах отцепочного ТР. Однако это противоречит интересам работников др. служб (движения и пути).	Низкая производительность труда из-за: – разбросанности рабочих позиций в пределах парков технической станции, что мешает обеспечить требуемый уровень механизации труда; – больших затрат времени и энергии на переходы от одного неисправного вагона к другому; – интервальности прибытия поездов, из-за чего 40% рабочего времени работники простаивают; – плохих и вредных условий труда.	– Требуется разработать такие показатели работы движенцев и путейцев, при которых они были бы заинтересованы в производительном и качественном ТР вагонов на ПТО; – Расширить список повреждений и отказов, по которым вагоны следует подавать в текущий отцепочный ремонт.	– Вагоны даже с незначительными повреждениями отцепляются от состава и подаются в специализированные отапливаемые помещения, которые оборудованы средствами диагностики, подъёмно-транспортным оборудованием и др. средствами механизации труда; – Агрегатный метод ремонта; – Технологии безразборной диагностики; – Доступ к отраслевой компьютерной базе данных о каждом вагоне.
Техническая ревизия соответствующих агрегатов вагонов, а также их ремонт крупного объёма	Руководство вагонных депо в силу известных причин имеет возможность, особо не опасаясь наказаний, отбирать в ДР вагоны в первую очередь с наименьшими объёмами восстановительных работ.	– Различный уровень изношенности и повреждаемости вагонов даже одного года выпуска на момент постановки ДР; – Дефицит материалов и запасных частей; – Сумма компенсации за ДР, получаемая вагонным депо, является фиксированной и не зависит от действительных затрат предприятия.	– Использовать и совершенствовать разработанную на базе ДИСПАРК технологию автоматизированной постановки вагонов по пробегу в ДР, при этом следует помнить, что посредством этой технологии реализуется затратный механизм организации ДР; – Установить порядок контролепригодного протоколирования фактических затрат депо на ДР каждого вагона и передачу этих данных в отраслевую компьютерную сеть (согласно указ. МПС № А-308А от 07.04.2000 г.)	ДР по техническому состоянию вместо действующей стратегии ДР по наработке. Для чего: – установить периодичности глубоких диагностик вагонов различного типа; – организовать на МПРВ отделения глубокой диагностики; – разработать и внедрить экспертный метод глубокой диагностики; – желательно перейти на новую технологию ТР

вагонов исполняют и операторские функции. Вследствие чего в первую очередь возникает вопрос о совместимости для них второй упомянутой функции со стратегией использования вагонов по регулировке, которая вкупе с отсутствием приписки к ремонтному предприятию является следствием господствующего с 1869 года принципа бесперегрузочного передвижения грузовых вагонов по сети железных дорог России. Понятно, что этот принцип обусловлен известным всем географическим фактором (огромная территория страны), который вряд ли выгодно нарушать (и не только в экономическом смысле).

Во избежание ситуации, описанной в известной басне И. А. Крылова «Лебедь, рак и щука», требуется разработка научно обоснованных рекомендаций и мероприятий, направленных на консолидацию ин-

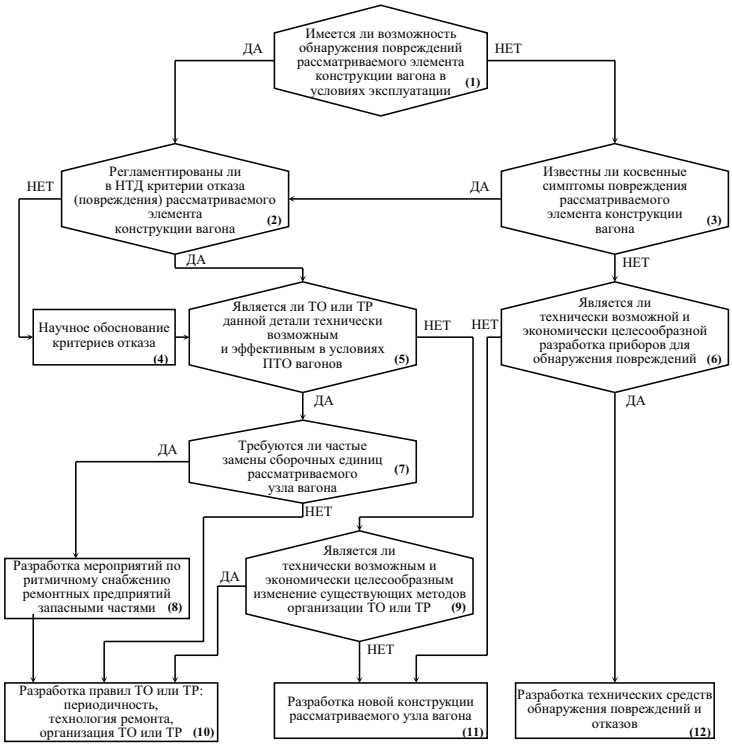

Рис. 1. Блок-схема алгоритма анализа конструкции вагона-аналога как объекта контроля ТС, ТО и ТР.

Pic. 1. Flow-chart of algorithm of analysis of a sample car design as of an object of a control of technical state, technical maintenance, routine repairs.

тересов и действий субъектов системы УТСВ.

Для реализации такого рода рекомендаций целесообразно на этапе проектирования вагона использовать в оптимизационной задаче (4) ÷ (7) новый для транспортной науки объект исследования: систему «вагон–эксплуатационная среда».

Именно этой оптимизационной задаче отведена роль инструмента при разработке мероприятий, консолидирующих интересы субъектов системы УТСВ. Причем на этапе проектирования вагона следует как минимум:

а) на основе тщательного анализа конструкции вагона-аналога как объекта контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта согласно алгоритма, представленного на рис. 1, разработать конструкторские рекомендации в части повышения уровня контролепригодности в полевых условиях и ремонтопригодности проектируемого вагона [4, с. 222–244];

б) на аргументы целевой функции (1) или, что всё равно, на объект оптимизации требуется наложить определенные ограничения:

1. Объект оптимизации должен выполнять роль связующего звена между объектами различной природы (конструкция вагона и его эксплуатационная среда).

2. В числе непременных (обязательных) ограничений должны находиться:

2.1. Обеспечивающее безопасность движения.

2.2. Позволяющее учитывать существующие мощности ремонтной базы вагонов необходимого вида.

2.3. Обеспечивающее требуемый уровень качества ДР.

3. В интересах оптимизации важно учитывать два обстоятельства:

3.1. По мере старения вагона возникает необходимость в более частой его постановке в глубокую диагностику; соответственно должна увеличиваться структура каждого последующего его ремонтного цикла (т. е. числа ДР между соседними КР вагона).

3.2. Максимальное количество капитальных ремонтов за срок службы вагона не может противоречить здравому смыслу экспертов, о чём надо помнить при формировании исходных данных в виде множества матриц типа (8), которое является областью определения ЦФ (1).

Указанным требованиям удовлетворяет матрица межремонтных пробегов вагона трапецеидальной конфигурации:

$$\left(l_{ij}\right)=\begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1m_1} & & & & \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2m_1} & \cdots & l_{2m_2} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nm_1} & \cdots & l_{nm_2} & \cdots & l_{nm_n} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где l_{ij} – j-й межремонтный пробег вагона в пределах i-го ремонтного цикла.

Свойства матрицы (8):

1. Число строк на единицу больше числа КР за НСС вагона.

2. Количество элементов в i-й строке матрицы на единицу больше числа ДР в пределах i-го ремонтного цикла.

3. Сумма элементов матрицы (8) есть нормативный срок службы вагона.

Итак, если из заданного множества матриц типа (8) выделена та, которая удовлетворяет задаче (4) ÷ (7), то получаем оптимальные значения:

– нормативного срока службы (НСС) вагона;

– количества КР вагона за НСС;

– числа ДР вагона в пределах каждого ремонтного цикла;

– межремонтных пробегов вагона.

Сделаем два замечания относительно организации совместного решения двух оптимизационных задач (3) и (4) ÷ (7) с целью количественного описания эталонного состояния отрасли.

1. При решении этих задач возникает необходимость в использовании нескольких так называемых периферийных задач, каждая из которых может быть представлена в виде программы, реализуемой на компьютере. Имеются в виду задачи, направленные на оптимизацию, а затем и нормирование параметров $\Psi^{(11)}$, $\Psi^{(14)}$, $\Psi^{(19)}$ и $\Psi^{(21)}$, а также задачи, в которых приведены методы определения функции $П(l_{ij})$, параметров a_{ij} и b_{ij}, фигурирующих в ЦФ (1).

2. Как уже отмечено, с целью устранения ограничения на использование метода динамического программирования при решении задачи (3) достаточно предварительно определить матрицу межремонтных пробегов (l_{ij}) с помощью решения задачи (4) ÷ (7). И здесь следует располагать значениями ряда параметров состояния железнодорожного транспорта, которые фигурируют в задаче (4) ÷ (7). Однако эти параметры можно определить, только решив задачу (3).

Разрешить возникшую коллизию помогает метод итераций для определения матрицы (l_{ij}). Этому способствует то, что представляется возможным опытным путём выяснить вопрос о сходимости указанного метода итераций. Приведём краткое описание алгоритма реализации итерационного процесса:

2.1. Задаёмся первым приближением матрицы межремонтных пробегов (обозначим $(l_{ij})_1$), например, соответствующей действующей системе ТОР вагонов.

2.2. Задавшись матрицей $(l_{ij})_1$, с помощью решения задачи (3) находим вектор параметров состояния отрасли в первом приближении (обозначим Ψ_1).

2.3. Имея значения параметров к вектору Ψ_1, с помощью решения задачи (4) ÷ (7) находим второе приближение матрицы межремонтных пробегов $(l_{ij})_2$.

2.4. Задавшись матрицей $(l_{ij})_2$, решаем задачу (3) и получаем вектор параметров состояния отрасли во втором приближении (Ψ_2).

2.5. Располагая Ψ_2, решаем задачу (4) ÷ (7) и получаем третье приближение матрицы межремонтных пробегов $(l_{ij})_3$.

И так далее. В итоге имеем последовательность матриц межремонтных пробегов вагонов рассматриваемого типа

$$\left(l_{ij}\right)_1,\left(l_{ij}\right)_2,\ldots,\left(l_{ij}\right)_{k-1},\left(l_{ij}\right)_k,\left(l_{ij}\right)_{k+1},\ldots,\left(l_{ij}\right)_{k+m},\ldots \quad (9)$$

Под пределом последовательности матриц (9) понимается матрица

$$\left(l_{ij}\right)=\lim_{k\to\infty}\left(l_{ij}\right)_k. \quad (10)$$

Для того чтобы воспользоваться теоремой сходимости последовательности матриц (9), необходимо каждой матрице поставить в соответствие действительное число. Сделать это помогает «норма матрицы». В качестве таковой предпочтительнее всего воспользоваться нормой матрицы типа

$$\left\|\left(l_{ij}\right)\right\|=\sqrt{\sum_{i,j}\left|l_{ij}\right|^2}, \quad (11)$$

где $\left|l_{ij}\right|$ – модул элемента матрицы.

Как известно, для сходимости последовательности матриц $(l_{ij})_k$ к матрице (l_{ij}) необходимо и достаточно, чтобы

$$\lim_{k\to\infty}\left|\left(l_{ij}\right)-\left(l_{ij}\right)_k\right|\to 0. \qquad (12)$$

Условие (12) можно проверить благодаря введённой норме матрицы (11).

Если последовательность матриц (9) является убывающей, то для всякого ε >0 должен существовать такой номер $N=N(\varepsilon)$ и $m>0$, что при $k>N$ имеет место [6, с. 238–246]:

$$\left\|\left(l_{ij}\right)_k-\left(l_{ij}\right)_{k+m}\right\|<\varepsilon. \qquad (13)$$

Тогда, задавшись значением ε, то есть допустимой точностью решения задачи, находим искомую матрицу межремонтных пробегов (l_{ij}).

Тем самым полностью снимается ограничение на решение задачи (3) с помощью метода динамического программирования с целью получения количественной оценки эталонного состояния отрасли.

Предлагаемая методика дает возможность практически освоить решение важной задачи транспортной науки – количественной идентификации эталонного состояния отрасли. Используемая в рамках методики многоуровневая модель управления отраслью позволяет анализировать ту или иную проблему на разных уровнях транспортной иерархии – от линейного до государственного и даже мирового.

Разработка модели и её применение в обозначенном контексте особенно актуальны с точки зрения географического фактора страны и наличия у нее явно недоиспользуемых транзитных ресурсов. Это естественным образом подводит к мысли о создании сети железных дорог планетарного уровня, обеспечивающей высокоскоростное, бесперегрузочное и всепогодное сухопутное перемещение пассажиров и грузов между пунктами, находящимися на разных континентах. Для этого достаточно вернуться к проектам полярной магистрали (строительство которой было заброшено в начале 50-х годов прошлого века) и тоннеля под Беринговым проливом.

В результате реализации подобных планов выявятся особенно рельефно конкурентные преимущества железных дорог над другими видами транспорта. В частности, с учетом степени их влияния на среду обитания человека.

Так, по данным зарубежных специалистов, вредных выбросов в расчёте на один пассажиро-километр у электрических поездов меньше в 300–400 раз по сравнению с авиационным и в 8–12 раз – в сравнении с автомобильным транспортом. Примерно такая же картина и относительно грузовых перевозок и, в том числе, морским транспортом.

А это при увеличении доли железных дорог на рынке перевозок не только улучшение экологической ситуации на планете, но скорее всего и возможность добиться снижения себестоимости транспортных услуг. Последнее, несомненно, положительно скажется и на социально-экономическом положении страны, о чём подробно говорится в [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Устич П. А., Иванов А. А., Садчиков П. И., Устич Д. П., Шикина Д. И. Методология гармонизации основных положений императива рынка транспортных услуг // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 8. – С. 64–68.
2. Устич П. А., Иванов А. А., Мышков В. Г., Садчиков П. И. Научное обеспечение развития отрасли // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 7. – С. 39–43.
3. Устич П. А., Иванов А. А., Аверин Г. В., Кузнецов М.А, Петров С. В. Некоторые аспекты проблемы нормирования уровня безопасности движения на примере железнодорожного транспорта // Надёжность. – 2011. – № 1 (36). – С. 59–73.
4. Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж. – д. транспорта / Под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
5. Устич П. А., Иванов А. А., Митюхин В. Б. Концепция интеллектуального управления // Мир транспорта – 2008. – № 3. – С. 4–11.
6. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
7. Устич П. А., Иванов А. А., Мышков В. Г. Дедуктивно-аксиоматический подход к созданию системы интеллектуального управления // Мир транспорта. – 2010. – № 1. – С. 4–13.
8. Полярная магистраль/ Под ред. Т. Л. Пашковой – М.: Вече, 2007. – 448 с.

MODEL OF SOLUTION OF OPTIMIZATION PROBLEMS

Ustich, Petr A. *– D. Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

Ivanov, Alexander A. *– Ph.D. (Tech), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

Chernyshova, Lydia M. *– Ph.D. (Economics), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*