

# Алгоритмизация процессов оценки пропускной способности железнодорожных участков в условиях предоставления окон



В. С. Тимченко,  
младший научный  
сотрудник Института  
проблем транспорта  
им. Н. С. Соломенко РАН

Метод имитационного моделирования процессов перевозок дает возможность оценивать наличную пропускную способность железнодорожных участков в условиях перспективного развития инфраструктуры и необходимости предоставления ежегодных окон для ремонтных и реконструктивных работ. Метод также позволяет проверить, достаточно ли запланировано организационных и реконструктивных мероприятий для опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры, которая позволит достичь планируемых объемов перевозок.

**Ж**елезнодорожный транспорт РФ работает в условиях ежегодного увеличения требуемых объемов перевозок. По данным Ассоциации морских торговых портов, объем железнодорожных перевозок в адрес морских портов увеличился с 413,3 млн т в 2007 г. до 565,5 млн т в 2012 г., что на 5,6 % больше, чем в 2011 г. [1].

По данным ИЭРТ, протяженность узких мест, ограничивающих пропускную способность, составляет около 7,5 тыс. км, это 9 % эксплуатационной длины сети железных дорог [2]. Узкие места в основном находятся на главных направлениях сети, где выполняется до 80 % грузооборота. Вследствие роста объемов перевозок протяженность узких мест на сети железных дорог к 2020 г. может возрасти до 19–21 тыс. км [3].

Все это обуславливает необходимость развития инфраструктуры железнодорожного транспорта, строительство, реконструкция и ремонт которой требуют предоставления более продолжительных окон, чем нормативные технологические окна, предусмотренные графиками движения поездов.

Наибольшее количество окон предоставляется путевому хозяйству железных дорог, поскольку эти сложные по технологии и продолжительные работы выполняются комплексом путевых машин и хозяйственных поездов. Работы на других объектах инфраструктуры вы-

полняются во время окон, предоставляемых для путевых работ, а также во время нормативных технологических окон. Поэтому количество и продолжительность окон на рассматриваемом железнодорожном направлении необходимо определять в основном по их надобности для путевых работ.

Выполнение путевых работ регламентируют Технические условия, которые распространяются на участки пути с обращением грузовых поездов с осевыми нагрузками до 25 кН/ось и скоростями до 140 км/ч и пассажирских поездов со скоростями движения до 200 км/ч [4]. Виды путевых работ и очередность их выполнения между капитальными ремонтами определяются в зависимости от класса, группы и категории путей.

Дополнительные указания устанавливают нормативные сроки капитального ремонта пути на новых и старогонных материалах, а также виды и очередность путевых работ, выполняемых между ними. Нормативные сроки увеличиваются или уменьшаются в зависимости от набора сопутствующих показателей, что учитывается при назначении ремонтов на ближайшие годы, в пределах которых возможен достоверный прогноз состояния пути, условий его эксплуатации, ремонтов и текущего содержания.

При назначении видов ремонтов на более длительную перспективу приходится руководствоваться в основном величиной и нормами пропущенного

тоннажа и дополнительными параметрами, которые возможно достоверно оценить на период прогнозирования. При этом объемы перевозок определяются по техническому заданию на проектирование строительства или реконструкции железнодорожного участка.

На этой основе требуется определить сроки завершения этапов работ, которые должны обеспечивать необходимую пропускную способность железнодорожного направления после завершения реконструкции и в периоды предстоящих ремонтов инфраструктуры. Решение этой задачи осложняется тем, что объемы перевозок грузов во встречных направлениях по двухпутному (многопутному) участку могут существенно различаться. Поэтому капитальный ремонт и промежуточные виды ремонтов первоначально требуются на пути с большей наработкой тоннажа.

Во время окон на ремонтируемом пути двухпутного участка поток грузовых и пассажирских поездов пропускается с пониженной скоростью в обоих направлениях по соседнему пути, что увеличивает пропускаемый по нему тоннаж и сокращает интервалы между предстоящими видами ремонтов.

Возникающие при этом затруднения в оценке перспективной наличной пропускной способности в условиях предоставления окон не отражены с достаточной детализацией в нормативной документации. Из-за этого невозможно достоверно прогнозировать объем грузов, которые могут быть перевезены в периоды проведения ремонтных работ. Поэтому содержанием данной статьи является изложение метода решения этой задачи на основе алгоритмизация технологии назначения ремонтов пути, включая определение мест предоставления, количества и продолжительности окон, что необходимо для оценки перспективной пропускной способности.

Алгоритм планирования ремонтов по годам рассматриваемого периода с учетом пропускаемого грузопотока предлагается составлять в следующем порядке.

Первоначально на основе прогноза ОАО ИЭРТ ежегодных объемов железнодорожных перевозок по родам грузов рассчитывается потребность в подвижном составе и среднесуточное количество грузовых поездов на рассматриваемый период.

Количество физических вагонов  $k$ -го типа в составе (округляется до целого

числа в меньшую сторону), перевозащем  $i$ -й род груза в  $j$ -й год, определяется по формуле

$$n_{вс}^{ijk} = (\alpha_v^{i1} l_{пд}^j) / l_{удв}^{i1} + (\alpha_v^{i2} l_{пд}^j) / l_{удв}^{i2} + \dots + (\alpha_v^{ir} l_{пд}^j) / l_{удв}^{ir}, \forall i, j, k,$$

где  $\alpha_v^{ik}$  – доля разных конструкций вагонов  $k$ -го типа,  $k = 1, r$ , используемых для перевозки  $i$ -го рода груза  $i = 1, m$ ;

$l_{пд}^j$  – полезная длина станционных путей в условиях вагонов на  $j$ -й год,  $j = 1, n$ ;

$l_{удв}^{ik}$  – условная длина вагона с параметрами  $k$ -го типа, используемого для перевозки  $i$ -го рода груза.

Масса нетто состава, перевозащего  $i$ -й род груза в вагонах с параметрами  $k$ -типов, за  $j$ -й год, определяется по формуле:

$$Q_{сн}^{ij} = \sum_{k=1}^r q_{гпв}^{ik} k_{г}^{ik} n_{вс}^{ijk}, \forall i, j,$$

где  $q_{гпв}^{ik}$  – грузоподъемность вагона  $k$ -го типа, используемого для перевозки  $i$ -го рода груза;

$k_{г}^{ik}$  – коэффициент использования грузоподъемности вагона  $k$ -го типа, используемого для перевозки  $i$ -го рода груза.

Количество поездов в сутки, необходимое для перевозки заданного объема  $i$ -го рода груза в  $j$ -й год, составит:

$$N_{пс}^{ij} = M_{пс}^{ij} / 365 Q_{сн}^{ij}, \forall i, j,$$

где  $M_{пс}^{ij}$  – планируемый объем перевозок  $i$ -го рода груза на  $j$ -й год, млн т/год.

Количество поездов в сутки, необходимое для перевозки всего заданного объема грузов за  $j$ -й год для каждого года периода планирования будет равно

$$N_{пс}^j = \sum_{i=1}^m N_{пс}^{ij}, \forall j,$$

Масса порожнего состава, перевозащего  $i$ -й род груза в вагонах с параметрами  $k$ -го типа, определяется по формуле

$$Q_{сн}^{ij} = \sum_{k=1}^r q_{т}^{ik} n_{вс}^{ijk}, \forall i, j,$$

где  $q_{т}^{ik}$  – масса тары вагона с параметрами  $k$ -го типа, используемого для перевозки  $i$ -го рода груза.

Среднее значение массы локомотива, перевозащего  $i$ -й род груза в  $j$ -й год, определяется по формуле

$$P_{лс}^{ij} = \sum_{f=1}^w \alpha_{л}^{ifj} P_{л}^{ifj}, \forall i, j,$$

где  $\alpha_{л}^{ifj}$  – доля локомотивов  $f$ -го типа, используемых для перевозки  $i$ -го рода груза в  $j$ -й год;

$P_{л}^{ifj}$  – масса локомотива  $f$ -го типа, используемого для перевозки  $i$ -го рода грузов в  $j$ -й год,  $f = 1, w$ .

Масса поезда брутто, перевозащего  $i$ -й род груза, за  $j$ -й год, составит:

$$Q_{сб}^{ij} = Q_{сн}^{ij} + Q_{сн}^{ij} + P_{лс}^{ij}, \forall i, j.$$

На основании рассчитанного количества груженых и порожних поездов для всех родов грузов, перевозимых за  $j$ -й год, определяется наработка тоннажа по формуле:

$$G_c^j = G_c^{j-1} + 365 * (\sum_{i=1}^m Q_{сб}^{ij} N_{пс}^{ij} + \sum_{i=1}^m Q_{пс}^{ij} N_{пс}^{ij} + Q_{прп}^j N_{прп}^j + Q_{пп}^j N_{пп}^j), \forall j,$$

где  $G_c^{j-1}$  – наработка тоннажа на конец года, предшествующего году планирования;

$Q_{пс}^{ij}$  – масса брутто порожнего поезда, перевозившего  $i$ -й род груза в  $j$ -й год;

$Q_{прп}^j$  – масса брутто пригородного поезда;

$Q_{пп}^j$  – масса брутто пассажирского поезда;

$N_{пс}^{ij}$  – число порожних поездов в сутки;

$N_{прп}^j$  – число пригородных поездов в сутки;

$N_{пп}^j$  – число пассажирских поездов в сутки.

$Q_{пс}^{ij}$  и  $N_{пс}^{ij}$  рассчитываются по заданным объемам перевозок грузов встречного направления, определяемого по методике, аналогичной вышеизложенной.

Год предстоящего капитального ремонта пути назначается на текущий год, если разница между наработкой тоннажа в текущем году и нормой наработки больше допустимого значения, которое согласуется с Департаментом пути и сооружений:

$$\sum_{j=1}^{j \leq n} G_c^j > G_{сн} \pm \Delta, \forall j,$$

где  $G_{сн}$  – норма пропущенного тоннажа, устанавливающая срок капитального ремонта пути;

$\Delta$  – допустимый размер изменения нормы пропущенного тоннажа, который применяется для железнодорожных участков с нормативным сроком службы рельсов, исчисляемых в пропущенном тоннаже, %.

В соответствии с [4] принимаются нормативные значения изменения нормы пропущенного тоннажа.

Увеличение нормы пропущенного тоннажа происходит на участках, где при ремонте пути был уложен подбалластный разделительный слой или промежуточные скрепления с пружинной клеммой.

Уменьшение нормы пропущенного тоннажа осуществляется для участков со скоростями движения грузовых поездов более 60 км/ч, на которых средняя осевая нагрузка превышает заданные значения; при невыполнении или неполном выполнении работ по шлифованию; в случае применения рекуперативного торможения; при средней длине рельсовой плети

на участках бесстыкового пути 700 м и меньше; на перевальных участках; на участках с кривыми радиусом 300 м и менее.

Суммарное уменьшение нормативных сроков при совпадении перечисленных факторов не должно превышать 25 % при исчислении нормативной наработки в тоннаже (для перевальных участков не более 40 %).

Распределение периода капитальных ремонтов между промежуточными ремонтами может выполняться равномерно по годам или по пропущенному тоннажу.

Для всех видов ремонтов, запланированных на текущий год, на основе технологии ремонтов и производительности ремонтных комплексов строятся графики их выполнения, определяющие даты, места расположения и длительность предоставляемых окон. Ограничения скорости движения поездов между окнами, по ремонтуемому пути и по соседнему пути двухпутного перегона устанавливаются в соответствии с их нормативными значениями, указанными в Инструкции [5].

Ремонтные работы планируются последовательно, начиная от станции отправления хозяйственных поездов, а сроки их проведения определяются с учетом географического расположения региона. Если в результате расчетов ремонт на отдельных железнодорожных участках не может быть выполнен за указанный период, то количество привлекаемых к работе ПМС на данном участке увеличивается.

На основе технологии определения периодичности ремонтов пути предлагается следующее его алгоритмическое описание:

$$D_{оп}^{ij} D_{ппд}^{ijk} D_{ппд}^j C_{фвс}^{ij} C_{мсн}^{ij} C_{мсб}^{ij} C_{пс}^{ij} C_{пс}^j C_{сбг}^j$$

$$C_c^j D_{сн}^j C_{снн}^j K (D_{оп}^{ij}) C_{гкр}^j C_{гпд}^j C_{нобр}^j E_{импп}^j$$

$$D_{импп}^j C_{гпо}^j C_{г}^j K(D_{оп}^{ij}) A_{ор},$$

где  $D_{оп}^{ij}$  – информация об объемах перевозок всех родов грузов по каждому году периода планирования;

$D_{ппд}^{ijk}$  – информация о параметрах подвижного состава, используемого для перевозки всех родов груза в  $j$ -й год;

$D_{ппд}^j$  – информация о полезной длине станционных путей;

$C_{фвс}^{ij}$  – расчет количества физических вагонов в составе поезда, перевозящего  $i$ -й род груза, в  $j$ -й год;

$C_{мсн}^{ij}$  – расчет массы составов нетто, перевозящих данный род груза в  $j$ -й год;

$C_{мсб}^{ij}$  – расчет массы составов брутто, перевозящих данный род груза в  $j$ -й год;

$C_{пс}^{ij}$  – расчет количества грузовых поездов в сутки, необходимого для перевозки данного рода груза в  $j$ -й год;

$C_{пс}^j$  – расчет суммарного количества грузовых поездов в сутки, необходимого для перевозки всего объема грузов в  $j$ -й год;

$C_{сбг}^j$  – расчет суммарного пропущенного тоннажа брутто за  $j$ -й год;

$C_c^j$  – расчет суммарной наработки тоннажа на начало  $j$ -го года;

$D_{сн}^j$  – информация о норме пропущенного тоннажа на начало  $j$ -го года;

$C_{снн}^j$  – сравнение суммарной наработки тоннажа с нормой на начало  $j$ -го года;

$K (D_{оп}^{ij})$  – переход алгоритма к началу расчета, если норма не достигнута;

$C_{гкр}^j$  – определение года капитального ремонта;

$C_{гпд}^j$  – определение годов проведения промежуточных ремонтов;

$C_{нобр}^j$  – назначение окон для ближайшего ремонта;

$E_{импп}^j$  – передача данных в имитационную модель процессов перевозок (набор данных о местах, расположении, длительности и количестве окон на ремонтируемом участке, количестве грузовых поездов в сутки по родам грузов, которые требуется пропустить, параметры подвижного состава, а также расписание движения и параметры пассажирских и пригородных поездов);

$D_{импп}^j$  – получение данных из имитационной модели о количестве пропущенных грузовых поездов по ремонтируемому участку с учетом ограничения скоростей при условии пропуска всех или части пассажирских и пригородных поездов;

$C_{гпо}^j$  – расчет наработки тоннажа с учетом окон на год планирования ремонтных работ;

$C_{г}^j$  – сравнение  $j$ -го года планирования ремонтных работ с годом окончания планирования;

$A_{ор}$  – решения об окончании расчета.

После определения дат, мест расположения и продолжительности предоставляемых окон с учетом снижений скорости движения поездов всех категорий определяется возможность их пропуска по ремонтируемой линии и уточняется создаваемая ими грузонапряженность. Для этого в модуль имитационного моделирования передается набор данных по всем годам планируемого периода о местах, длительности и количестве окон, количестве и параметрах всех грузовых поездов в сутки, а также расписание движения и параметры пассажирских и пригородных поездов.

Программный комплекс имитационного моделирования процессов перевозок создан и развивается содружест-

вом ученых академической (ИПТ РАН), отраслевой (ИЭРТ, Внешвузцентр) и вузовской (ПГУПС) науки.

Метод имитационного моделирования позволяет оценивать пропускную способность с учетом различных вариантов реконструкции инфраструктуры и организации движения, категорий грузовых поездов, количества и полезной длины станционных путей, неравномерности движения, возможностей привязки локомотивов и локомотивных бригад к поездам, ограничений системы энергоснабжения при электротяге, наличия предупреждений об изменениях установленной скорости, а также предоставления окон для ремонта инфраструктуры [6].

В результате имитационного моделирования строятся графики движения поездов, по которым определяется различная пропускная способность железнодорожного участка в зависимости от задаваемых условий организации движения.

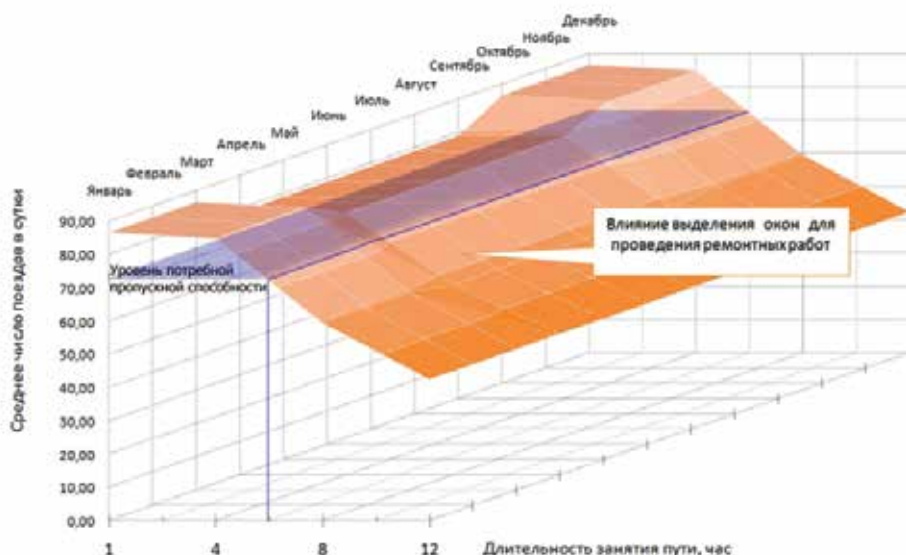
После оценки наличной пропускной способности при заданном состоянии инфраструктуры, варианте организации движения и разработанном графике предоставления окон, она сравнивается с потребной пропускной способностью (см. рисунок) и определяются условия ее достижения.

Если наличная пропускная способность меньше потребной, имитационная модель рассчитывает количество поездов, которое должно быть направлено на параллельные линии для обеспечения заданных размеров движения при рассматриваемом варианте развития инфраструктуры, с учетом ежегодных периодов проведения ремонтных работ.

Модель определяет число задержанных поездов и общие задержки для всех пропущенных поездов в зависимости от продолжительности окна, а также оценивает стоимость потерь от простоев и дополнительных пробегов поездов. Стоимость этих потерь суммируется со стоимостью ремонтных работ при различной продолжительности окон. Оптимальной продолжительности окна соответствует наименьшая из указанных сумм.

Результаты имитационного моделирования, которые содержат информацию о количестве пропущенных поездов по ремонтируемому участку в условиях предоставления окон, являются исходными данными для дальнейшего плани-





Пример определения наличной пропускной способности железнодорожного участка в зависимости от продолжительности занятия путей сортировочной станции

рования ремонтных работ и организации перевозок на перспективу. **Т**

**Литература**

1. Грузооборот морских портов России за 2012 г. [Ассоциация морских торговых портов]. 14 янв. 2013. URL: <http://www.morport.com/rus/publications/document1339.shtml> (дата обращения: 04.09.2013).

2. Якунин В. И. ОАО «РЖД». Инфраструктура промышленного роста // Федеральное справочное издание. Инфраструктура России. Т. 2. 2013. С. 129–132. URL: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/II/Yakunin.pdf>.

3. Пехтерев Ф. С. Основные направления актуализации генеральной схемы развития железнодорожного транспорта до 2020 года // Федеральное справочное издание. Инфраструктура России. Т. 2. 2013. С. 129–132. URL: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/II/Pehterev.pdf>.

4. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 2 мая 2012 г. № 859). 308 с.

5. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г.). 190 с.

6. Кокурин И. М., Кудрявцев В. А. Оценка пропускной способности железнодорожных линий на основе имитационного моделирования процессов перевозок // Известия Петербург. ун-та путей сообщения. 2012. Вып. 2 (31). С. 18–22.

**портал для специалистов транспортной отрасли**  
**www.rostransport.com**

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ЭКОНОМИКЕ, ПРАКТИКЕ  
**ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Об издании | Распространение | Мероприятия | Подписка | Реклама | Авторам | Медиа-кит |   Зарегистрируйтесь

**Журнал "Транспорт РФ"**

**Журнал "Наука и транспорт"**

**С.И. Будюлов**  
 к.э.н, зам. ген. директора ЗАО «ЦНИИИМП»  
**Водный транспорт**

**Новости отрасли**  
**2013-03-01** Авиапассажиры создают ассоциацию, чтобы отстаивать свои права  

 Закон о доступности авиаперелетов внутри страны предлагают разработать эксперты. Пока же под нарушением прав потребителей понимается только качество услуг и товаров. Однако их недоступность, в том числе и авиаперелетов, тоже можно считать нарушением прав потребителей, считает глава Союза потребителей Петр Шелищ.  
[Далее >>>](#)

**2013-03-01** "Толмачево" стал базой спасателей  

 Международный аэропорт Новосибирска объявил о принятии на постоянное базирование вертолета Ми-8Т Росавиации. Машина будет находиться на круглосуточном дежурстве в системе авиационно-космического поиска и спасания.  
[Далее >>>](#)