

На правах рукописи

МАЛОВЕЦКАЯ ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ НОРМАТИВОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛАНА  
ФОРМИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ПОЕЗДОВ**

05.22.08. – Управление процессами перевозок

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Екатеринбург - 2006**

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ИрГУПС) Федеральное агентство железнодорожного транспорта

**Научный руководитель:** Кандидат технических наук, доцент  
Иванкова Людмила Николаевна

**Официальные оппоненты:** Доктор технических наук, профессор  
Шаров Виктор Александрович  
Кандидат технических наук, доцент  
Биленко Геннадий Михайлович

**Ведущая организация:** Сибирский государственный университет  
путей сообщения (СГУПС)

Защита состоится 22.11.2006 г. в 14.00 часов на заседании Диссертационного совета Д.218.013.01 при Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) по адресу: 448 283  
630034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС).

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан 21.11.2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



В.Р. Асадченко

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из основных задач управления транспортным производством является своевременное и качественное выполнение перевозок грузов. В условиях конкурентной работы Российских железных дорог качество перевозок становится одним из экономических критериев и требует эффективного управления.

В соответствии со стратегической программой развития ОАО "РЖД" на период до 2015 года к числу главных технологических принципов перевозочного процесса отнесены оптимизация плана формирования поездов с учетом экономических приоритетов организации и пропуска вагонопотоков и управление вагонопотоками и грузопотоками на транзитных транспортных коридорах сети. От организации вагонопотоков зависят показатели использования поездных и маневровых локомотивов, степень использования сортировочных устройств и путевого развития станций, выполнение нормативов эксплуатационной работы.

К оптимальной системе организации вагонопотоков предъявляются требования обеспечения высокого уровня транзитности, уменьшения непроизводительных переработок вагонов на сортировочных станциях.

Формирование групповых поездов из вагонов с местным грузом или порожних под погрузку, а также групповая подборка вагонов по отдельным маневровым районам в поездах назначением на крупные грузовые станции с недостаточно развитыми сортировочными устройствами позволит обеспечить гибкость и маневренность организации перевозок, снизить эксплуатационные расходы, повысить качество перевозочного процесса. Таким образом, определение сферы эффективности формирования групповых и однопутных поездов приобретает особую актуальность.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью, с одной стороны, снижения издержек железных дорог, а с другой - необходимостью повышения качества перевозок и конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

**Целью** диссертационной работы является разработка теоретических положений по совершенствованию формирования и пропуска групповых поездов на направлении с учетом переменных нормативов плана формирования поездов (ПФП).

Для достижения указанной цели в диссертационной работе были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Анализ существующих исследований по формированию и организации пропуска групповых составов.
2. Исследование структуры входящих немаршрутизированных вагонопотоков, перерабатываемых на технических станциях (по величине группы, количеству групп вагонов).
3. Исследование закономерностей процесса накопления составов при формировании групповых поездов, а также влияния путевого развития станции на продолжительность маневровых операций.
4. Определение сфер эффективности групповых поездов в зависимости от:
  - мощности вагонопотока;
  - категории групповых поездов;
  - дальности следования.
5. Определение экономической целесообразности формирования групповых поездов ( на примере ВСЖД).

**Объект** для проведения исследований – система организации вагонопотоков.

**Предметом** исследования является организация работы технических станций и прилегающих участков при формировании и пропуске групповых поездов.

**Методологической и теоретической основой** исследований являются работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные разработке и определению сферы применения групповых поездов.

**Методы** исследования основаны на:

- математической обработке результатов статистических наблюдений за количеством назначений, включаемых в групповые поезда; интервалов поступления вагонопотоков.
- использовании теорий вероятности и исследования операций;

- системном подходе к решению поставленной проблемы, анализе и синтезе рассматриваемого объекта управления;
- статистическом моделировании процессов накопления и обработки групп поездов на попутных технических станциях;
- оптимизационном моделировании при определении сферы эффективности групповых поездов.

**Достоверность** полученных результатов достигнута: применением имитационной модели, имеющей высокий уровень адекватности; использованием реальных данных для проведения исследований; получением статистически устойчивых результатов имитаций случайных процессов за необходимый период времени; полнотой учета затрат при технико-экономическом сравнении вариантов; апробацией результатов на конференциях и в публикациях.

**Наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, заключаются в следующем:**

- 1) разработаны теоретические положения по совершенствованию формирования и пропуска групповых поездов на направлении;
- 2) разработана модель определения переменных нормативов ПФП.

**Научная новизна** исследования заключается в обосновании сферы эффективного применения одногруппных и групповых поездов с учетом переменных нормативов плана формирования.

1. Впервые на основе имитационного моделирования получены аналитические зависимости для определения переменных нормативов плана формирования грузовых поездов;
2. Разработана методика определения сфер эффективности формирования групповых поездов.

**На защиту выносятся** следующие основные положения:

- методика определения переменных нормативов ПФП;
- методика определения суммарных эксплуатационных расходов при формировании одногруппных и групповых поездов;
- сферы эффективного применения одногруппных и групповых поездов.

**Практическая ценность.** Использование результатов работы позволит повысить транзитность поездопотоков, ускорить продвижение местного груза, сократить оборот вагона и в целом повысить эффективность перевозочного процесса.

**Реализация работы.** Выполненные теоретические и экспериментальные исследования использованы службой перевозок Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) - филиалом ОАО РЖД в области совершенствования оперативной организации вагонопотоков. Результаты исследования используются в учебном процессе в Иркутском государственном университете путей сообщения.

**Апробация работы.** Различные аспекты работы были обсуждены и одобрены на межвузовских научно-технических конференциях в ИРГУПСе в 2003 г., в Красноярске в 2005 году, на заседаниях кафедры "Управление эксплуатационной работой" Иркутского государственного университета путей сообщения в 2002-2006 годах, кафедры "Управление эксплуатационной работой" Сибирского государственного университета путей сообщения в 2005 году, кафедры "Управление эксплуатационной работой" Уральского государственного университета путей сообщения в 2006г.

**Публикации.** По результатам диссертационного исследования опубликовано семь печатных работ (в т.ч. одна работа в издании, рекомендованном ВАК).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, заключения, списка использованной литературы (129 наименований) и 4 приложений. Работа изложена на 198 страницах машинописного текста, содержит: 38 рисунков, 20 таблиц и 33 страницы приложений.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, дается общая характеристика проблемы, определены основные задачи исследования.

**В первой главе** "Состояние вопроса и постановка задачи" выполнен анализ существующей системы организации вагонопотоков на сети железных дорог России и за рубежом.

Оптимальной системе организации вагонопотоков предъявляются требования обеспечения высокого уровня транзитности вагонопотоков и уменьшения непроизводительной переработки вагонов на технических станциях.

В последние годы значительно изменились условия эксплуатационной работы участковых и сортировочных станций в связи с увеличением перерабатываемых ими вагонопотоков и ростом размеров движения, где значительную часть составляют транзитные поезда, проходящие станции без переработки или с частичной переработкой (отцепка, прицепка групп, изменение направлений движения). Введение групповых (в основном двух- или трехгруппных) поездов вместо одногруппных позволяет сократить простой вагона под накоплением и переработку вагонов, а также освободить попутные сортировочные станции от переработки. Важнейшим фактором для применения групповых поездов является четкая технология работы с ними.

Как показал анализ ПФП по ВСЖД за последние годы, доля групповых поездов неуклонно снижается и составляет в настоящее время 3.95% от общего поездопотока. Особо следует подчеркнуть тот факт, что сортировочные станции вообще почти не формируют групповые поезда, а если и формируют, то очень мало.

Проблеме совершенствования организации и управления грузовыми перевозками на железнодорожном транспорте уделялось внимание многих отечественных и зарубежных ученых. Большой научный и практический вклад внесли исследования, выполненные докторами и кандидатами технических наук: К.А. Бернгардом, А.Ф. Бородиным, А.К. Угрюмовым, В.М. Акулиничевым, А.А. Аветикяном, В.А. Шаровым, М.Д. Гордоном, Б.А. Длугачем, Л.П. Кайро, А.В. Каяшевым, П.А.Ковровым, А.А.Лещинским, Р.В..Межовой, Р.З. Нурмухамедовым, А.Т. Осьмининим, В.В. Повороженко, Е.А. Сотниковым, М.Д. Ситником, А.И. Сметаниным, С.Г. Стопичевым, Г.В. Ферапонтовым, Н.П. Шейпак, В.П. Шулько и другие.

Анализ системы организации вагонопотоков развитых зарубежных стран показал, что зарубежный опыт не может быть использован в полном объеме на

железных дорогах России из-за различий в инфраструктуре экономики, технического оснащения, особенностей схем и объемов грузопотоков.

В заключительной части главы на основе анализа данных исследований поставлена задача, определены цели и методы исследования. Для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта в области организации грузовых перевозок, требуется разработать теоретические положения по совершенствованию формирования и пропуска групповых поездов.

**Вторая глава** "Исследование закономерностей изменения нормативов плана формирования (ПФ) групповых поездов" содержит анализ современных условий и технологических параметров организации эксплуатационной работы направлений на отечественных железных дорогах. В ней представлены результаты исследований факторов, влияющих на перевозочный процесс.

Для установления основных параметров внутрисуточного колебания, было проанализировано поступление поездов на ряд технических станций. На основе статистических рядов, полученных после упорядочения и уплотнения первичных данных, были установлены основные характеристики статистических распределений.

Анализ показал, что в 90% составов число вагонов в прицепляемых и отцепляемых группах не превышает 20-23. Среднее число вагонов в группах отцепки и прицепки колеблется от 17,75 до 18,8. При этом коэффициент вариации числа вагонов в группах изменяется в пределах от 0,528 до 0,652 и имеет тенденцию к уменьшению при увеличении среднего числа вагонов в группе. Анализ распределения числа вагонов в составах показывает, что среднеквадратическое отклонение колеблется от 10,40 до 14,82, а коэффициент вариации принимает значение в интервале от 0,195 до 0,241, т.е. число вагонов в составах не подвержено сильному изменению.

Для построения модели накопления одногруппных и групповых поездов, были исследованы закономерности распределения интервалов поступления вагонов на пути сортировочного парка (СП). Анализ результатов обработки показал, что среднеквадратическое отклонение интервалов расформирования  $\sigma(t)$

составляет 0,445 часа, а коэффициент вариации  $v(t)$  равен 0,752. Причем между математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением существует определенная связь, которая характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,954.

Для установления связи между среднеквадратическим отклонением  $\sigma(t)$  и математическим ожиданием интервалов расформирования вагонов  $M(t)$  использовались функции следующих видов (Рис.1):

1.  $\sigma(t)=aM(t)+b$ ;
2.  $\sigma(t)=aM(t)^b$ ;
3.  $\sigma(t)=ae^{bM(t)}$ ,

где  $a$  и  $b$  - параметры, определяемые по методу наименьших квадратов.

В результате расчетов по каждой из вышеприведенных зависимостей следует, что наиболее точные результаты получаются по зависимости :

$$\sigma(t)=0.773M(t)^{0.861} . \quad (1)$$

Коэффициент вариации интервалов расформирования вагонов предлагается определять по формуле:

$$v(t)=\sigma(t)/M(t)=0.773M(t)^{-0.139}=0.506(N_c/m_c)^{0.139} , \quad (2)$$

где  $N_c$  - суточный немаршрутизированный вагонопоток;

$m_c$  - средняя величина состава.

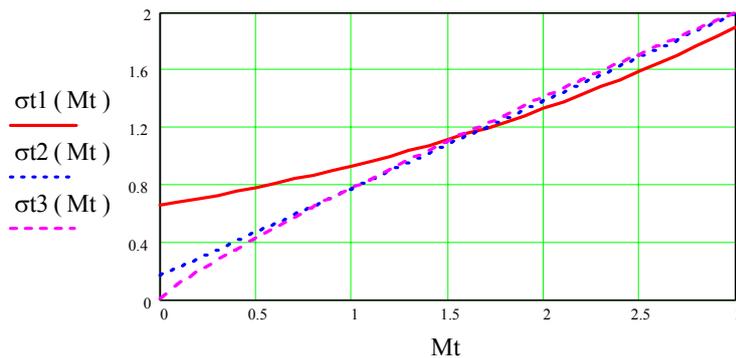


Рис. 1 Зависимость среднеквадратического отклонения  $\sigma(t)$  от математического ожидания интервалов расформирования вагонов  $M(t)$ .

Анализ процесса накопления в разных условиях подвода вагонов к станции и ее работы позволяет наиболее точно установить параметр накопления, а следовательно, и вагоно-часы накопления для отдельных или всех назначений.

Для определения области значений параметра накопления  $c$  использована стохастическая зависимость его от среднесуточного вагонопотока назначений. При этом целесообразно величину  $c$  выразить в виде функции двух переменных среднего простоя под накоплением -  $t_n$  и количества вагонов в составе -  $m_c$ , а именно:

$$c_{cp} + \Delta \varepsilon_c = N_{cp}(t_n \pm \Delta \varepsilon_{tn}) / m_c \pm \Delta \varepsilon_{mc}, \quad (3)$$

где  $|t_n \pm \Delta \varepsilon_{tn}|$  и  $|m_c \pm \Delta \varepsilon_{mc}|$  - средние отклонения случайной величины от ее математического ожидания, соответственно:

$$M(t_n) = f(N_{сут}^{cp}) \text{ и } M(m_c) = fI(N_{сут}^{cp}). \quad (4)$$

Распределение величин параметра накопления близко к закону равномерной плотности:

$$f(c) = \begin{cases} 1/(\beta - \alpha) & \text{при } \alpha < c < \beta \\ 0 & \text{при } c < \alpha \text{ и } c > \beta. \end{cases} \quad (5)$$

Максимальные колебания величины параметра накопления наблюдаются при небольших размерах вагонопотока. В отдельные периоды величина  $c$  изменяется в несколько раз. Поэтому даже при фиксированном значении вагонопотока функция  $c = f(t_n, m_c)$  не однозначна и принять параметр накопления равным постоянному числу нельзя.

С целью определения эффективных вариантов организации вагонопотоков разработана номограмма, отображающая взаимосвязь всех элементов, оказывающих непосредственное влияние на процесс поездообразованья. Анализ номограммы показал, что при вагонопотоках малых и больших величина параметра накопления возрастает, а в интервале от 150 до 300 вагонов становится наименьшей.

Можно с достаточной точностью принять, что при небольшом числе групповых поездов, формируемых за сутки, последние должны формироваться с минимальным накоплением, так как вагоны для них должны подводиться согласованно. При большом числе групповых поездов это сделать труднее и накопление будет возрастать. Эффективность групповых поездов значительно снижается в том случае, когда дополнительная задержка под обработкой группового поезда вызывает также задержку транзитных поездов. Однако, таких задержек можно избежать, правильно используя резерв пропускной способности.

**Глава 3** "Методика определения переменных нормативов для расчета ПФ групповых поездов" посвящена выбору методики решения задач, входящих в функциональный состав комплексной модели расчета плана формирования групповых поездов.

Поездообразование является одним из важнейших процессов в работе станции. Параметры его имеют большое значение как в организации работы самой станции, так и всего направления. Это вызывает необходимость достаточно детального описания закономерностей накопления составов.

В известных в настоящее время моделях процесс поездообразования реализуется двумя методами:

- моделированием последовательности интервалов между моментами окончания накопления составов на основе известной функции распределения;
- моделированием разложения расформируемых составов по назначениям плана формирования с последующим суммированием групп до целых составов.

В первом случае процесс поездообразования, как таковой, отсутствует. В связи с этим имеется разрыв системы по сортировочному парку, что делает невозможным использование модели для исследования станций в условиях высоких загрузок ее элементов, когда начинает проявляться взаимная блокировка подсистемы.

В рассматриваемой модели реализован второй способ описания процесса поездообразования. Разложение состава выполняется по группам входящих в него назначений. За каждым назначением в сортировочном парке закрепляется свой путь (в случае применения жесткой специализации), либо группа путей в виде ограничивающих ее начальных и конечных номеров (при использовании скользящей специализации).

Реализованная модель воспроизводит поведение и взаимодействие элементов сложной системы с учетом случайных возмущающих факторов. Формирование текущего значения какой-либо переменной происходит путем генерирования случайного числа в сочетании с интегральной функцией распределения вероятностей для исследуемого процесса, которая может принимать значение от 0 до 1.

Так, появление вагонов различных назначений в составе рассматривается как случайные события. Распределение величин групп, поступающих на данное назначение, как было установлено в главе 2, соответствует нормальному закону распределения.

Текущее значение величин групп вагонов определяется по формуле:

$$m'_{zp} = m_{cpi} | \ln F(m'_{zp}) | ; \quad (6)$$

$$F(m'_{zp}) = Z_i , \quad (7)$$

где  $Z_i$  - случайное число из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале от 0 до +1;

$m_{cpi}$  - средняя величина группы  $i$  назначения;

$$m_{cp} = Ni/n_{np} = (19 - 0.1k_{наз}) \sqrt{N} / 0.4n_{пер} , \quad (8)$$

где  $Ni$  - вагонопоток  $i$  назначения;

$k_{наз}$  - количество назначений по плану формирования;

$n$  - число прибывающих в расформирование поездов.

Для формирования интервалов между моментами поступления вагонов на пути сортировочного парка с заданным эрланговским законом распределения порядка  $k=3$ , также было использовано преобразование случайных чисел, имеющих равномерное распределение в диапазоне 0-1.

Получая по программе случайные числа  $Z_i$  и приравнивая их к функции распределения  $F(I)$ , а затем, решая уравнение относительно  $I$ , были получены очередные моменты поступления вагонов на пути сортировочного парка:

$$I_j = I_{min} - [(I_{cp} - I_{min}) \ln(\Pi Z_i)] / k, \quad (9)$$

где  $I_{min}$  - минимальный интервал поступления вагонов на пути сортировочного парка;

$I_{cp}$  - среднее значение интервала поступления;

$k=3$  - параметр Эрланга функции распределения;

$\Pi Z_i$  - произведение равномерно распределенных случайных чисел;

$$I_{cp} = 1440 / N, \quad (10)$$

где  $N$  - ожидаемое количество расформировываемых поездов.

Моделирование количества расформировываемых поездов происходит каждый раз при переходе к имитации процесса на очередные сутки. Текущее его значение получается с использованием случайного числа  $Z_i$  и интегральной функции распределения

$$N = N_{cp} + kv N_{cp} (\Sigma Z_i - 3), \quad (11)$$

где  $N_{cp}$  - среднесуточное число поездов, расформировываемых на станции;

$kv$  - коэффициент вариации.

Имитация накопления начинается с анализа назначения поступающей группы  $m_{zpi}$ . В первую очередь проверяется путь, где уже идет процесс накопления вагонов данного назначения, при отсутствии такового, группу вагонов помещают на имеющийся свободный путь. На основании вышеизложенных положений был построен алгоритм формирования групповых поездов. В процессе накопления и по его завершению подсчитываются следующие величины по каждому назначению:

- параметр накопления составов -  $c$ ;
- количество накопившихся составов  $\Sigma N_{наки}$ ;
- $\Sigma T_{наки}$  - время накопления составов;
- $\Sigma B_{наки}$  - вагоно-часы накопления.

Применение методов планирования эксперимента позволяет определить погрешность математической модели и судить о ее адекватности. В связи с этим, в

диссертационной работе методом планирования эксперимента были получены значения параметра накопления  $c$  по станции формирования для всех категорий групповых поездов, а также значения параметра ожидания  $cI$  по станции перецепки для категорий групповых поездов:

- с нефиксированной и фиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $N_o \geq N_n$ ;
- с нефиксированной и фиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $N_o < N_n$ .

При планировании эксперимента в данной работе был использован полный факторный эксперимент  $2^3$ . После обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии для кодированных значений факторов:

$$c(x_1, x_2, x_3) = 11.0125 - 0.1225x_1 + 1.13x_2 - 0.1925x_3 + 0.295x_1x_2 + 0.5725x_1x_3 + 0.285x_2x_3 - 0.087x_1x_2x_3$$

для одногруппных поездов;

$$c(x_1, x_2, x_3) = 7.298 - 0.02125x_1 + 0.2838x_2 + 0.1988x_3 - 0.166x_1x_2 + 0.131x_1x_3 - 0.2887x_2x_3 - 0.6587x_1x_2x_3$$

для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и не прикрепленных к расписанию;

$$c(x_1, x_2, x_3) = 13.973 - 0.36x_1 - 0.3925x_2 + 0.9075x_3 - 0.1475x_1x_2 - 0.5075x_1x_3 + 0.32x_2x_3 - 1.005x_1x_2x_3$$

для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию;

$$c(x_1, x_2, x_3) = 12.8275 + 0.105x_1 + 0.8925x_2 + 0.38x_3 - 0.205x_1x_2 + 0.1225x_1x_3 - 0.155x_2x_3 - 1.8975x_1x_2x_3$$

для групповых поездов с фиксированной величиной групп и не прикрепленных к расписанию;

$$c(x_1, x_2, x_3) = 17.356 + 0.0238x_1 + 0.836x_2 - 0.28625x_3 + 1.538x_1x_2 - 0.624x_1x_3 + 1.084x_2x_3 - 0.28875x_1x_2x_3$$

для групповых поездов с фиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию.

где  $x_1$  - фактор, характеризующий изменение доли поездов, в составе которых есть данное назначение;

$x_2$  - фактор, характеризующий изменение величины группы;

$x_3$  - фактор, характеризующий интервал прибытия поездов.

Полученная адекватная линейная модель имеет вид полинома первой степени. Коэффициенты полинома являются частными производными функции отклика по соответствующим переменным.

По полученным коэффициентам взаимодействия  $b_{ij}$  была установлена мера влияния каждого из факторов на параметр оптимизации. При этом необходимо отметить, что следует разделить между собой категории групповых поездов с нефиксированными и фиксированными группами, поскольку доминирующее влияние на параметры оптимизации оказывают разные факторы.

Помимо уравнений регрессии для кодированных значений факторов были получены уравнения регрессии для натуральных значений. Уравнения для натуральных значений были получены с использованием формулы переходов:

$$x_j = (x_{ij} - x_{j0}) / J_j, \quad (12)$$

где  $x_j$  - кодированное значение фактора;

$x_{ij}$  - натуральное значение фактора;

$x_{j0}$  - натуральное значение основного уровня;

$J_j$  - интервал варьирования;

$j$  - номер фактора.

При переходе к натуральным значениям переменных коэффициенты регрессии изменяются, и уравнения примут вид:

$c(s, g, I) = 11.5332 - 1.108s + 0.0858g - 0.0097I + 0.14sg + 0.006sI + 0.00024gI - 0.0012sgI$  - для одnogруппных поездов;

$c(s, g, I) = 6.8975 - 3.97125s + 0.0058g + 0.0064I + 0.55sg + 0.118sI + 0.0009gI - 0.017sgI$  - для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и не прикрепленных к расписанию

$c(s, g, I) = 12.344 - 1.3113s - 0.548g + 0.0751I + 1.39625sg - 0.004sI + 0.0177gI - 0.049sgI$  - для групповых поездов с нефиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию

$c(s, g, I) = 15.4523 - 14.7125s - 0.672g - 0.1128I + 2.6875sg + 0.525sI + 0.0264gI - 0.093sgI$  - для групповых поездов с фиксированной величиной групп и не прикрепленных к расписанию

$c(s,g,I)=18.377+3.322s-0.593g-0.0108I+1.194sg+0.2350sI+0.01486gI-0.0145sgI$  - для групповых поездов с фиксированной величиной групп и прикрепленных к расписанию.

Здесь,  $s$  - доля поездов, в составе которых есть данное назначение;

$g$  - величина группы;

$I$  - интервал поступления вагонов на пути СП.

При организации обращения групповых поездов с нефиксированным весом групп и не прикрепленных к определенным расписаниям особое внимание должно уделяться обеспечению их продвижения до пункта назначения без задержек на станциях обмена групп. Поскольку в пути следования на технических станциях осуществляется перецепка группы вагонов, то необходимо оценить изменение величины параметра ожидания  $cI$ .

По результатам обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии для кодированных значений факторов:

$cI(x_1,x_2,x_3)=5.523-1.243x_1+0.0985x_2-0.0136x_3+1.724x_1x_2+0.027x_1x_3+0.0084x_2x_3+0.00241x_1x_2x_3$  - для одногруппных поездов;

$cI(x_1,x_2,x_3)=2.532-1.9421x_1-0.1684x_2-0.123x_3+0.6245x_1x_2+0.218x_1x_3+0.0031x_2x_3-0.04857x_1x_2x_3$  - для групповых поездов с фиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $No \geq Nn$ ;

$cI(x_1,x_2,x_3)=1.606-0.894x_1+0.0048x_2+0.0183x_3+0.781x_1x_2+0.0036x_1x_3+0.092x_2x_3-0.0674x_1x_2x_3$  - для групповых поездов с нефиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $No \geq Nn$ ;

$cI(x_1,x_2,x_3)=9.6218-9.474x_1-0.902x_2-0.6146x_3+1.046x_1x_2+0.771x_1x_3+0.07648x_2x_3-0.0075x_1x_2x_3$  - для групповых поездов с фиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $No < Nn$ ;

$cI(x_1,x_2,x_3)=5.94-2.608x_1+0.0275x_2+0.348x_3+0.5425x_1x_2+0.1785x_1x_3+0.0507x_2x_3-0.09175x_1x_2x_3$  - для групповых поездов с нефиксированной величиной групп не прикрепленных к расписанию при соотношении вагонопотоков  $No < Nn$ .

На основе анализа коэффициентов взаимодействия  $b_{ij}$  была установлена мера влияния каждого из факторов на параметр оптимизации. Наибольшее

положительное влияние на параметр оптимизации, независимо от величины соотношения вагонопотоков  $Nn$  и  $No$ , оказывает фактор  $x_1$ , характеризующий вероятность своевременного подвода вагонов данного назначения с соседних участков. Меньшее по своему значению влияние оказывает фактор  $x_2$  - величина группы.

Фактор  $x_3$  - интервал прибытия групповых поездов, имеет существенное влияние лишь на категорию групповых поездов с фиксированной величиной групп.

По результатам проведенных экспериментов получены зависимости параметров накопления  $c(s,g,I)$  и ожидания  $cI(I,g,N)$ , на основе которых были предложены уточненные формулы для расчета затрат вагоно-часов и локомо-тиво-часов при групповом и одnogруппном формировании.

**В четвертой главе** "Экономическая целесообразность организации движения групповых поездов" были выявлены сферы эффективного применения одnogруппных и групповых поездов.

Для оценки эффективности различных способов организации эксплуатационной работы станций и участков оценивалась эффективность формирования групповых поездов на железнодорожных линиях. Для различной величины норм массы рассматривалась эффективность организации формирования как одnogруппных, так и групповых грузовых поездов.

При этом учитывались следующие категории затрат:

- расходы на одно назначение (одnogруппное и двухгруппное);
- суммарные эксплуатационные расходы, связанные с организацией формирования и курсирования как одnogруппных, так и групповых поездов.

Исследование производилось в два этапа, исходя из необходимости осуществления следующих условий:

1. При организации формирования одnogруппных поездов учитывались эксплуатационные расходы, связанные с вагоно-часами накопления по станции формирования и суммарные эксплуатационные расходы, связанные с локомо-тиво-часами маневровой работы.

2. При организации формирования групповых поездов учитывались эксплуатационные расходы:

- связанные с вагоно-часами накопления по станции формирования;
- суммарные эксплуатационные расходы, связанные с локомотиво-часами маневровой работы, как по станции формирования, так и по станции перецепки.
- эксплуатационные расходы, вызванные вагоно-часами ожидания по станции перецепки;
- эксплуатационные расходы, связанные с простоем локомотивов и локомотивных бригад.

Помимо этого, при формировании групповых поездов учитывались следующие возможные варианты формирования:

1) если по станциям перецепки ранее была предусмотрена стоянка поездов для смены локомотива и локомотивных бригад, и время, затрачиваемое на операции по прицепки-отцепки групп вагонов укладывается в норму стоянки.

В этом случае дополнительных эксплуатационных расходов возникать не будет.

2) если рассматриваемую станцию ранее проследовал без остановки одногруппный поезд.

Тогда возникнут дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с простоем поездов. Кроме того, если станция перецепки не является пунктом смены локомотивов, учитывались дополнительные расходы, вызванные простоем поездных локомотивов и локомотивных бригад:

1. Если размеры вагонопотоков на участке не меняются и  $m_{отц} = m_{приц}$ ;
2. Если размеры вагонопотоков  $m_{отц}$  и  $m_{приц}$  на участке меняются.

Сферы экономически выгодного применения групповых и одногруппных поездов определялись сравнением общих эксплуатационных расходов. Зависимости общих эксплуатационных расходов для одногруппных поездов и всех категорий групповых, приходящиеся на одно назначение, представлены на рис.2.

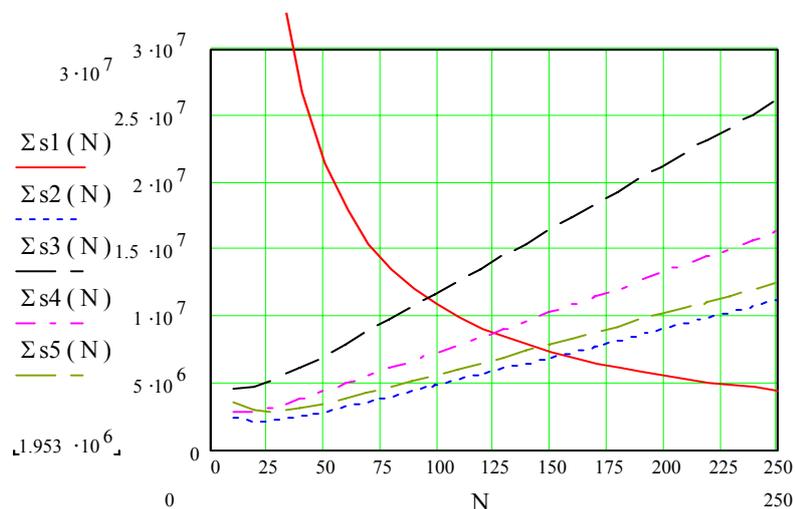


Рис.2. Общие эксплуатационные расходы, приходящиеся на одно назначение

На основе вышеизложенного был сделан ряд выводов:

- при малых мощностях вагонотоков наибольшую эффективность имеют групповые поезда, прикрепленные к фиксированным расписаниям;
- с ростом вагонотока до 100–120 вагонов эффективность групповых поездов, прикрепленных к расписаниям, снижается, т.к. растут расходы, связанные с ожиданием расписания графика движения поездов (ГДП);
- для вагонотоков с мощностями от 100 до 150 вагонов эффективными являются групповые поезда с нефиксированным весом групп и не прикрепленные к расписаниям;
- вагонотоки мощностью от 150 вагонов и выше эффективно организовывать в одnogруппные поезда, поскольку для групповых поездов растут расходы на перцепку групп на попутных технических станциях.

Таким образом, предлагается следующий порядок применения методики оценки эффективности формирования групповых поездов:

- 1) выполняется статистическая обработка натурных листов;
- 2) на основе обработанных данных выводятся законы распределения и статистические характеристики интервалов поступления вагонов на пути накопления, а также величин групп вагонов;

- 3) моделируется процесс накопления вагонов в СП для одnogруппных и всех категорий групповых поездов (с фиксированными и не фиксированными группами, прикрепленных и не прикрепленных к расписаниям);
- 4) на основе результатов имитационного моделирования выводятся аналитические зависимости параметров накопления  $c(s, g, I)$  и ожидания  $cI(I, g, N)$  с использованием метода планирования экспериментов;
- 5) выполняется оценка временных затрат на производство маневровой работы при различных типах схем путевого развития станций перецепки;
- 6) на основании переменных нормативов предлагаются уточненные формулы для расчета вагоно-часов накопления по станции формирования; вагоно-часов ожидания по станциям обмена групп; локомотиво-часов маневровой работы на станциях формирования и обмена групп;
- 7) проводятся технико-экономические расчеты по минимизации эксплуатационных расходов, связанных с вагоно-часами накопления и локомотиво-часами маневровой работы;
- 8) устанавливаются границы эффективного применения одnogруппных и групповых поездов различных категорий;
- 9) в зависимости от соотношения конкретных струй выполняется корректировка ПФП;
- 10) устанавливаются зависимости эффективности формирования групповых поездов от дальности следования «ядра» до станции обмена групп и от величины «ядра»;

Методика расчета эффективности групповых поездов была рассмотрена на примере формирования групповых поездов на направлении Иркутск-Сортировочный - Улан-Удэ - Заудинск - Тальцы - Наушки. В результате расчетов установлено, что групповой поезд по сравнению с одnogруппным позволяет уменьшить затраты суммарных вагоно-часов на 21,5% и уменьшить переработку вагонов на 66,2%. Общая экономия эксплуатационных расходов при реализации предлагаемых вариантов составляет 7 млн. руб. в год.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В диссертационной работе разработаны теоретические положения по применению переменных нормативов при расчете ПФ групповых поездов.
2. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта сделан вывод о том, что формирование групповых поездов является важнейшим резервом повышения транзитности вагонопотоков. Однако, сферы эффективности применения групповых поездов исследованы недостаточно.
3. В диссертационной работе выявлено влияние переменных нормативов на процесс накопления и установлены зависимости величины параметра накопления от перерывов в накоплении составов. Графические зависимости  $c(\gamma)$  свидетельствуют, что процесс накопления протекает более равномерно при формировании составов с оптимальным количеством групп 2-3. При увеличении числа групп вагонов в составах резко возрастают вагоно-часы накопления, так с изменением количества групп от трех и выше, величина вагоно-часов накопления возрастает на 43% - 45%.
4. С целью определения эффективных вариантов организации вагонопотоков разработана номограмма, отображающая взаимосвязь всех элементов, оказывающих непосредственное влияние на процесс поездообразования.
5. Установлено, что колебание вагонопотока при небольших его значениях оказывает несущественное влияние на вагоно-часы накопления. Вагоно-часы накопления практически не зависят от статистических характеристик интервалов прибытия поездов в расформирование. В большей степени на их величину оказывает влияние мощность вагонопотока и дробность сортировки. При вагонопотоках малых и больших величина вагоно-часов накопления возрастает, а в интервале от 150 до 300 вагонов становится наименьшей.
6. Выявлено, что на станциях обмена групп простой вагонов зависит от количества и величины групп, а также схем путевого развития. Наиболее рациональными для обмена групп являются схемы поперечного типа.

Разработана модель процесса накопления и обработки групповых поездов на попутных технических станциях. Выполнены расчеты, подтверждающие работоспособность предложенной модели и адекватность получаемых решений реальным условиям практики работы железных дорог. Внедрение полученных результатов будет способствовать улучшению эксплуатационных показателей на полигоне сети ж.д.

7. Разработана модель определения переменных нормативов ПФП.
8. Определены сферы эффективного формирования групповых поездов. Групповые поезда эффективны при наличии:

- слабых, но устойчивых потоков;
- мощных, но колеблющихся потоков, не кратных составу поезда (в случае применения жестких ниток графика).

Наиболее эффективными являются групповые поезда, прикрепленные к определенным расписания без постоянного веса групп.

Установлена зависимость роста эксплуатационных расходов, связанных с формированием и пропуском групповых поездов от расстояния между станцией перецепки и станцией назначения ядра. При этом необходимо отметить, что:

- наиболее эффективными являются групповые поезда с наибольшей дальностью пробега отцепляемых групп (станция перецепки должна быть как можно ближе к станции назначения "ядра");
- многогруппные поезда эффективны для организации вывозного и передаточного движения в крупных узлах без перецепки групп.

9. Установлены верхние и нижние границы "ядра" и отцепляемых и прицепляемых групп, прикрепляемых к групповым поездам. Величина обменных групп должна находиться в пределах от  $1/4$  до  $1/2$  состава.
10. Выполнены расчеты для конкретных назначений плана формирования Восточно-Сибирской железной дороги. Экономия эксплуатационных расходов при реализации предлагаемых вариантов составляет 7 млн руб.

Основные положения диссертационного исследования опубликованы в следующих работах автора:

1. Маловецкая Е.В. Эффективность групповых поездов (тезисы) // Энергосберегающие технологии и окружающая среда: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Иркутск, 2004 г. – Т.1. – С.563.
2. Маловецкая Е.В. Исследование технологии работы станций при организации обращения групповых составов // Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2004 г, № 4 (20). – С.180 – 181.
3. Иванкова Л.Н., Маловецкая Е.В. Оценка неравномерности поступления вагонов в групповых поездах // Транссибирская магистраль – важнейший элемент Евроазиатского транспортного коридора: Сборник научных трудов с международным участием. – Чита: ЗаБИИЖТ, 2004. – С. 305.
4. Маловецкая Е.В. Исследование процесса накопления многогруппных составов // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сборник научных трудов/ Под. Ред. В.И. Жукова. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2004 г. – С.159 –166.
5. Маловецкая Е.В. Эффективность групповых поездов // Транспортные проблемы сибирского региона: Сб. науч. Тр. – Иркутск: ИрГУПС, 2004. – Часть I. – С. 51 –57.
6. Маловецкая Е.В. Исследование особенностей технологии работы станций при организации обращения групповых составов // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Отв. Ред. В.П. Суров. – Красноярск: Изд-во «Гротеск», 2005 г. – С. 636.
7. Иванкова Л.Н., Иванков А.Н., Маловецкая Е.В. Экономическая оценка целесообразности формирования групповых поездов // Иркутский гос. Ун-т путей сообщения. – Иркутск, 2006. – 14 с. – Деп. В ВИНТИ 24.07.2006, № 986 – В 2006.

МАЛОВЕЦКАЯ ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ НОРМАТИВОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПЛАНА  
ФОРМИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ПОЕЗДОВ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

---

Подписано к печати 10.11.06г.

Формат бумаги 60x84 1/16

Объем 1.5 п.л.

Заказ 3/3

Тираж 100 экз.

---

Типография УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66