

УДК 656.225

***ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЕЗДОПОТОКА В ПАРКЕ ПРИЕМА  
СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРЕЛОСТАВЛЕНИЯ  
«ОКОН» НА ПРИЛЕГАЮЩИХ УЧАСТКАХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПЕРЕРЫВОВ В РАБОТЕ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ***

***Суслов Д.А.***

*Студент,*

*Российский университет транспорта (МИИТ),*

*Москва, Россия.*

***Новикова А.С.***

*Студент,*

*Российский университет транспорта (МИИТ),*

*Москва, Россия.*

***Шмаль В.Н.***

*к.т.н., доцент,*

*Российский университет транспорта (МИИТ),*

*Москва, Россия.*

***Минаков П.А.***

*к.т.н., доцент,*

*Российский университет транспорта (МИИТ),*

*Москва, Россия.*

**АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена рассмотрению дифференциальных уравнений и описания работы сортировочных станций с помощью математического моделирования. Описан анализ систем обслуживания поездопотока бригадами ПТО в парке приема сортировочной станции. Также рассмотрены условия работы бригад при

предоставлении «окон» на прилегающих участках и аналитические зависимости для расчета основных параметров их работы.

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, дифференциальные уравнения, сортировочная станция.

***RESEARCH OF THE TRAIN TRAFFIC SERVICE SYSTEM MAIN CHARACTERISTICS IN THE MARSHALLING YARD RECEPTION PARK IN THE CONDITIONS OF "WINDOWS" IN ADJACENT SECTIONS AND TECHNOLOGICAL INTERRUPTIONS IN THE SORTING SLIDE OPERATION***

***Suslov D.A.***

*Student,*

*Russian university of transport (MIIT),*

*Moscow, Russia.*

***Novikova A.S.***

*Student,*

*Russian university of transport (MIIT),*

*Moscow, Russia.*

***Shmal V.N.***

*Ph.D. in Technology, assistant professor,*

*Russian university of transport (MIIT),*

*Moscow, Russia.*

***Minakov P.A.***

*Ph.D. in Technology, assistant professor,*

*Russian university of transport (MIIT),*

*Moscow, Russia.*

**ABSTRACT**

The article is devoted to the consideration of differential equations and descriptions of the operation of marshalling yards using mathematical modeling. The analysis of the

systems of servicing the train flow by the technical service teams in the reception park of the marshalling yard is described. Also, the working conditions of teams in providing "windows" in adjacent areas and analytical dependencies for calculating the main parameters of their work are considered.

**Keywords:** Mathematical modeling, differential equations, marshalling yard.

Использование аппарата дифференциальных уравнений первого порядка впервые, с помощью математического моделирования описания функционирования сортировочных станций, позволило детально изучить взаимосвязи между различными системами обслуживания вагонопотоков и определить основные характеристики поведения таких систем. Метод моделирования показывает, что наилучший ответ на проблему может быть получен, только в случае стабильного выполнения операций с дифференциальными уравнениями первого порядка, путем оптимизации ряда выбранных переменных. Задачей исследования технико-технологических параметров работы станции занимались следующие ученые [1], [2], [9], [10].

Внедрение метода математического моделирования вместе с аппаратом дифференциальных уравнений первого порядка [6],[7], для описания работы сортировочных станций по переработке вагонопотоков, дало возможность точно изучить связь между элементами обслуживания вагонопотоков и установить параметры их работы.

До настоящего времени, для решения этой проблемы, были выделены и применялись методы, основанные на следующем:

- - получение детерминированных зависимостей – этот принцип не учитывает возможные свойства для определения действий обслуживания поездопотоков на станциях. Так, к примеру, Г.С. Васильевым [3] были

выдвинуты эмпирические формулы для нахождения отдельных межоперационных простоев вагонов на станции;

- - применение теории вероятности и теории массового обслуживания, которые выводят неточные итоги расчетов при больших загрузках систем обслуживания (более 0,8). Это направление продолжает развиваться. К таким подходам также относится и [4] основанный на применении многофазных систем массового обслуживания с групповым поступлением заявок;
- - применение имитационного моделирования, при описании работы систем обслуживания вагонопотоков на станции. Оно верно воспроизводит процедуру обслуживания, но выполняется для каждой станции индивидуально, что является очень трудозатратным [5].

Описание работы систем обслуживания в полном объеме с помощью этих подходов имеют множество недостатков, а также затрачивают большое количество времени.

В данной статье для расчета основных показателей функционирования одной из систем обслуживания вагонопотоков на технической станции, представлена методика аналитического расчета на использовании дифференциальных методов, нового подхода, для описания процессов обслуживания вагонопотоков на станции [8].

Обработка прибывающих составов в парке приема, осуществляется одной системой обслуживания - бригадой ПТО И ПКО, в соответствии с технологией обработки входящего поездопотока. При накладывании системы расформирования составов с горки на пути парка приёма, из-за вероятностного характера прибывающего на станцию поездопотока - оказывается влияние на функционирование всей цепи систем обслуживания поездопотока на станции и вызывает межоперационные простои.

Так, например, при высокой нагрузке на системы обработки поездов, недостаточном путевом развитии парка приёма и малой перерабатывающей способности горки, могут образоваться простои составов на подходе к станции и следовательно уменьшать пропускную способность станции.

Это показывает тесную взаимосвязь в работе отдельных систем обслуживания поездопотока на сортировочной станции в условиях предельных загрузок.

Внедрение методики помогает учесть связь во взаимной работе этой системы с величинами, которые задействованы с простоем ожидания роспуска в условиях конечного числа путей в парке приема, также получать показатели: средняя очередь и среднее время в ожидании осмотра работы в этой системе при предельных ( $\psi_{бр}^{пп} = 0,7 \div 1$ ) и «запредельных» (когда  $\psi_{бр}^{пп} > 1$ ) ее загрузках, вести расчеты в ситуациях возможной «блокировки» деятельности единичных систем связанных с предоставлением «окон» для ремонта путей на прилегающих направлениях и технологических перерывах в работе каждого элемента обслуживания.

Модель применяет особенности входящего поездопотока, которые были приобретены с помощью разных работников в этой области в соответствии анализа графиков движения. Из этого анализа следует, что коэффициент вариации интервалов прибытия поездов в расформирование – достаточно устойчивая величина, и она является одним из важных параметров при поиске решения с применением теории массового обслуживания.

Проведенные исследования позволили выявить аналитические зависимости для определения таких характеристик работы систем обслуживания в парке приема как:

- средняя величина очереди в ожидании начала обслуживания обработки составов и расформирования составов;

- среднее время ожидания начала обслуживания в этих системах;
- диапазон изменения числа занятых путей в парке приема и характеристики этого изменения.

Исследования проводились в условиях средних, предельных и «запредельных» загрузках систем, характерных для ограниченного периода времени и показывают, что зависимость средней очереди ожидания технического осмотра от загрузки бригады (бригад) ПТО имеет место три, ярко выраженных, диапазона значений:

- при загрузке бригад ПТО до величины  $\psi_{бр}^{пп} = 0.8$  включительно, данная зависимость является линейной;

- при большей величине загрузки (от 0,8 до 1), включая точку  $\psi_{бр}^{пп} = 1$ , эта зависимость имеет вид параболы;

- при «запредельной» загрузке, то есть  $\psi_{бр}^{пп} > 1$  эта зависимость тоже носит параболический характер, но ее «крутизна» увеличивается.

Под «запредельной» загрузкой следует понимать, что в конкретный промежуток времени интенсивность входящего в систему потока превышает интенсивность обслуживания. По длительности ограниченный период времени может занять значительную долю суток. Для восстановления путей на прилегающих направлениях, технологических перерывов в работе сортировочной горки или использование её для выполнения других работ помимо расформирования прибывающих составов определены специальные промежутки – «окна».

Получение результатов в различных возможных ситуациях функционирования станции, а не только при стабильных режимах работы, обусловлено использованием дифференциального метода. Он помогает обеспечить устойчивый процесс обслуживания отдельных вагонопотоков и всей станции.

После ряда расчетов, зависимость средней очереди ожидания технического осмотра составов в парке приёма от загрузки этой системы может быть аппроксимирована в рамках существующих на практике характеристик входящего потока поездов. При условии  $\psi_{бр}^{ПП} \geq 1$  средняя очередь ожидания обслуживания имеет конечное значение, в течение ограниченного периода времени поступления в систему обслуживания сгущенного потока поездов.

Данные диапазоны характерны как при работе одной, так и большого количества работающих бригад в парке приёма сортировочной станции.

Результаты расчетов и аппроксимации средней очереди в ожидании технического осмотра от загрузки системы определяются следующей зависимостью и представлены на рисунке 1:

$$M[n_{оч}^{бр ПП}] = \begin{cases} \frac{0.1 * n_{бр} * (1 + 0,75 t_{обсл}^{ПП})}{t_{обсл}^{ПП}} \psi_{бр}^{ПП}, & \text{при } 0 \leq \psi_{бр}^{ПП} \leq 0.8 \\ \frac{2(\psi_{бр}^{ПП2} - \psi_{бр}^{ПП} + 0.2) * n_{бр} * (1 + 0,75 t_{обсл}^{ПП})}{t_{обсл}^{ПП}}, & \text{при } 0.8 < \psi_{бр}^{ПП} \leq 1 \\ \frac{20(\psi_{бр}^{ПП2} - 1,75\psi_{бр}^{ПП} + 0,77)}{t_{обсл}^{ПП}} + 15(\psi_{бр}^{ПП2} - 2,3\psi_{бр}^{ПП} + 1,32), & \text{при } 1 < \psi_{бр}^{ПП} \leq 1,2 \end{cases} \quad (1)$$

где:  $t_{обсл}^{ПП}$  - среднее время обработки составов в парке приема, час;

$n_{бр}$  – число бригад, работающих в парке приема станции;

$\psi_{бр}^{ПП}$  – загрузка бригады ПТО в парке приема.

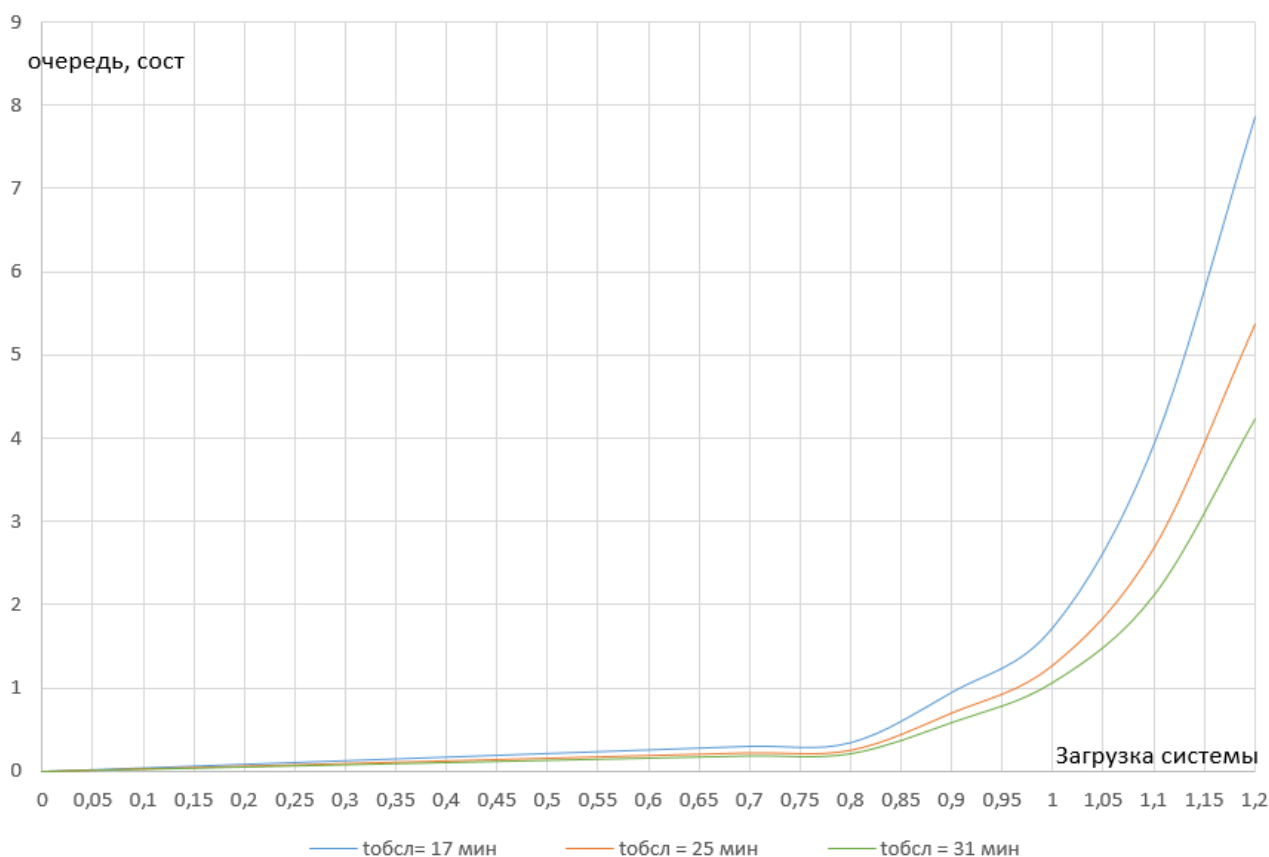


Рис. 1 – зависимость средней очереди в ожидании технического осмотра от загрузки системы  
(авторская иллюстрация)

Приведенная зависимость в полной мере отражает фактический характер изменения средней очереди как в условиях отсутствия «окон» для ремонтных работ на прилегающих участках, так и в период сгущенного подхода поездов на станцию после окончания действия перерывов, связанных с предоставлением данных «окон».

#### Библиографический список:

1. Бодюл В.И. Математическая модель распределения вагонного парка по железным дорогам в условиях неравномерности грузовых перевозок // М.: – Вестник, ВНИИЖТ, 2006. – №3. – С 3-9.



2. Бодюл В.И. Методика построения динамической модели управления перевозочным процессом // М.: – Труды ВНИИАС, 2005. –№4. – С 30-34.
3. Василев Г.С. Нормы для расчёта плана формирования поездов //Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта – М.: 1964. – №8. – С. 51-54.
4. Казаков А.Л., Павидис М.М. Об одном подходе моделирования работ сортировочных станций // Транспорт Урала. 2019. № 1 (60). С. 29–35. ISSN 1815-9400.
5. Козлов П.А. Универсальная имитационная система транспорта «ИСТРА» // Межвуз. сб. Организация работы транспорта промышленных предприятий. - Калинин: КГУ, 1984. - С. 3-8.
6. Минаков, П. А. Использование дифференциальных уравнений для определения технико- технологических параметров работы сортировочной станции / П. А. Минаков // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 3. – С. 19-24.
7. Минаков, П. А. Взаимодействие технологических линий в парке приема сортировочной станции / П. А. Минаков // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 23-25.
8. Минаков, П. А. Исследование основных характеристик системы обслуживания поездопотока в парке сортировочной станции в условиях предоставления «окон» на прилегающих участках / П. А. Минаков, В. Н. Шмаль // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 389-395. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.52.
9. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочной станции. - М.: Транспорт, 1979.

10. Сотников Е.А. Развитие сортировочных станций при увеличении провозной способности // Железнодорожный транспорт, 1975. – №10. – С. 28-32.

*Оригинальность 75%*