

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Бутунов Дилмурод Баходирович

Ташкентский государственный транспортный университет
dilmurodpgups@mail.ru

Мусаев Мухамеджан Юсупович

Ташкентский государственный транспортный университет
mmuhamedjan@mail.ru

Абдукодиров Сардор Аскар угли

Ташкентский государственный транспортный университет
sardor_abduqodirov@bk.ru

Даминов Шахриер Ассомиддин угли

Ташкентский государственный транспортный университет
daminovshakhriyor@mail.com

АННОТАЦИЯ

Основной целью работы является анализ отечественных и зарубежных исследований в области совершенствования методов оценки непроизводительных потерь времени в работе сортировочной станции. Анализ показал, что вопросам совершенствования методов технико-эксплуатационных оценок организации и управления вагонопотоками сортировочных станций посвящены работы многих ученых, однако большинство из них раскрывают отдельные аспекты проблемы, не предлагая универсального механизма оценки и общего подхода.

Ключевые слова: сортировочная станция, непроизводительная потеря, время нахождения вагона на станции, обработка состава, парк прием, сортировочной парк.

ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN STUDIES IN THE FIELD OF IMPROVING METHODS FOR ASSESSING THE WORK OF A SORTING STATION

ABSTRACT

The main purpose of the work is to analyze domestic and foreign studies in the field of improving methods for assessing unproductive time losses in the operation of a sorting station. The analysis showed that the work of many scientists is devoted to the issues of improving the methods of technical and operational assessments of the organization and management of railcar flows of sorting stations, but most of them reveal certain aspects of the problem without offering a universal assessment mechanism and a general approach.

Keywords: sorting station, unproductive losses, the time spent by the wagon at the station, train processing, acceptance park, sorting park.

ВВЕДЕНИЕ

В мировых транспортных коридорах в процессе сортировки грузопотоков увеличение скорости движения, разработка методов оптимизации технологических процессов и нормирование установленных времени, а также совершенствование методов технико-эксплуатационных оценок управления играют ведущую роль. В развитых странах, в том числе в государствах, таких как США, Германия, Китай, Швеция, Индия, Россия и в других странах, большое внимание уделено разработке методов нормирования, оценки и устранению факторов непроизводительных потерь, оказывающих влияние на транспортные магистрали и местные отрасли. В связи с этим особое внимание уделяется разработке методов расчёта и нормированию величины параметра непроизводительных потерь времени при переработке вагонов, а также совершенствованию технологии управления процессами переработки вагонопотоков на сортировочных станциях.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Вопросами совершенствования методов оценки работы сортировочной станции посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: Р.З. Нурмухамедова, Н.Н. Ибрагимова, Г.А. Мирзаевой, С.К. Худайбергана, Н.Н. Норматова, С. Рихсиева, А.Ш. Шорустамова, Ш.М. Суюнбаева, А.А. Светашева, У.Н. Ибрагимов, М.А. Ходжимухаметовой, Ж.Р. Кабулова, К.А. Журабаева, Е.А. Сотникова, К.К. Таль, П.Б. Романова, С.А. Цыганова, Е.А. Ветухова, Н.Н. Шабалина, В.А. Персианова, А.В. Быкадорова, П.Р. Потапова, К.Ю. Скалова, Н.С. Усакова, Т.Н. Федотова, В.А. Федотова,

П.С. Грунтова, В.А. Захарова, А.Г. Миркина, С.В. Панкова, П.А. Козлова, С.С. Котельникова, В.С. Тимченко, J. Samaj, [S.I. Muzykina](#), G.I. Nesterenko, [Chao Zhang](#), [Wenliang Zhou](#), Rene Schönemann, Maria Gisela Bardossy, Bengt Sandblad, Marin Marinov и многих др.

Н.Н. Шабалин [1] отмечает, что для оптимизации процесса управления вагонопотоков на железных дорогах необходимо анализировать работу технических (сортировочных) станций с учетом «лимитирующих» элементов в процессе расформирования и формирования. Он предлагает для определения среднего времени нахождения транзитных вагонов с переработкой описывать действие лимитирующих элементов на основе формулы

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{обр}} + t_{\text{ож}}^{\text{расф}} + t_{\Gamma} + t_{\text{нак}} + t_{\text{ож}}^{\Phi} + t_{\Phi} + t_{\text{обр}} + t_{\text{ож}}^{\circ}, \quad (1)$$

где $t_{\text{обр}}$ – время на обработку состава в ПП, час;

$t_{\text{ож}}^{\text{расф}}$ – время на ожидания расформирования состава, час;

t_{Γ} – время горочный интервал при расформировании состава, час;

$t_{\text{нак}}$ – время простоя вагонов под накоплением, час;

$t_{\text{ож}}^{\Phi}$ – время ожидания формирования в СП, час;

t_{Φ} – время на окончание формирования, час;

$t_{\text{обр}}$ – время на обработку состава в ПО, час;

$t_{\text{ож}}^{\circ}$ – время ожидания отправления в ПО, час.

В формуле (1) не учтено влияние таких элементов, как $t_{\text{ож}}^{\text{обр(пп)}}$, $t_{\text{ож}}^{\text{обр(по)}}$, $t_{\text{ож}}^{\text{перес}}$ и

$t_{\text{ож}}^{\text{лок}}$.

Эти элементы описываются средним временем ожидания

$$t_{\text{ож}} = \frac{\psi^2 \cdot (1 + \nu_{\text{обсл}}^2)}{2 \cdot r \cdot (1 - \psi)}, \quad (2)$$

где ψ – коэффициент загрузки входного канала;

$\nu_{\text{обсл}}$ – коэффициент вариации длительности обслуживания;

r – среднечасовая интенсивность поступления составов.

Для определения элементов $t_{\text{ож}}^{\text{расф}}$, $t_{\text{ож}}^{\Phi}$ и $t_{\text{ож}}^{\circ}$ [1, 2] по Н.Н. Шабалину рекомендуются следующие формулы

$$t_{\text{ож}}^{\text{расф}} = \frac{N \cdot t_{\Gamma}^2 \cdot (\nu_{\text{вх}}^{2,5} + \nu_{\Gamma}^2)}{48 - 2 \cdot N \cdot t_{\Gamma}}, \quad (3)$$

$$t_{\text{ож}}^{\Phi} = \frac{N \cdot t_{\Phi}^2 \cdot (1 + \nu_{\Phi}^2)}{48 \cdot M - 2 \cdot N \cdot t_{\Phi}}, \quad (4)$$

$$t_{ож}^o = \frac{N \cdot I_o^2 \cdot (1 + v_o^2)}{48 - 2 \cdot N \cdot I_o}, \quad (5)$$

где N – количество поездов, перерабатываемых за сутки;

$v_{вх}$ – коэффициент вариации интервалов прибытия поездов в расформирование;

v_r – коэффициент вариации горочных интервалов;

v_ϕ – коэффициент вариации времени формирования;

M – число маневровых локомотивов на вытяжках;

I_o – средний интервал отправления грузовых поездов, получаемый делением суточного периода на пропускную способность для грузовых поездов;

v_o – коэффициент вариации интервалов отправления.

В работе [3] В.М. Акулиничева среднее время ожидания обслуживания в подсистемах станции определяется следующим образом

$$t_{ож} = \frac{\psi^2 \cdot (v_{вх}^2 + v_{обсл}^2)}{2 \cdot \mu \cdot (1 - \psi) \cdot [1 - v_{вх} \cdot (1 - \psi)]}, \quad (6)$$

где $v_{вх}$ – коэффициент вариации входящего поездопотока;

$v_{обсл}$ – коэффициент вариации продолжительности ТО;

μ – интенсивность обслуживания.

Для определения отдельных межоперационных ожиданий вагонов на станциях в работе [4] Г.С. Васильев предложил эмпирические формулы

$$t_{ож}^p = y \cdot \frac{n_{пр}^{пс} \cdot (8,1 \cdot \gamma_{гор}^2 - 8,65 \cdot \gamma_{гор} + 2,35)}{n_{ож}}, \quad (7)$$

где y – числовой коэффициент;

$\gamma_{гор}$ – загрузка горки;

$n_{пр}^{пс}$ – суточное число пассажирских и грузовых поездов;

$n_{ож}$ – средняя длина очереди в ожидании обслуживания.

Для определения времени ожидания технологических операций вагонов на станциях И.Б. Сотников [5] предложил формулу

$$t_{ож} = \frac{\psi \cdot (k_1 + k_2)}{2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \mu \cdot (1 - \psi)}, \quad (8)$$

где μ – интенсивность обслуживания;

k_1 – параметр, равный отношению квадрата среднего значения к дисперсии интервалов обслуживания;

k_2 – то же интервалов между поступающими в систему требованиями;
 ψ – загрузка системы.

В научной работе Н.И. Федотов [6] предложил формула для определения времени ожидания отправления поездов из станции на участок

$$t_{\text{ож}}^{\text{от}} = \frac{1440}{N} \cdot \frac{N - n_i}{n_i} \cdot (1 + 0,04 \cdot m), \quad (9)$$

где N – пропускная способность линии;

n_i – размеры движения;

m – число путей в парке для i – го направления.

Таким образом, несмотря на единство подходов и принципов определения времени нахождения вагонов на станциях, используемая параметрическая база весьма различна.

Вопросами имитационного моделирования эксплуатационных процессов работы сортировочной станции в отечественной и зарубежной науке посвящено достаточно большое число работ.

Н.Н. Шабалин [7] и Е.А. Ветухов и Е.А. Сотников [8] предложили использовать статистическое моделирование технологических процессов работы станции для анализа загрузки технических устройств станций. В результате моделирования определили «узкие места» при переработке вагонопотоков.

В работе [7] Н.Н. Шабалин определил задержки и простои поездов в ожидании обслуживания состава. И, по результатам моделирования для определения среднего простоя одного состава в ожидании любого вида обслуживания предложил следующие формулу

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \frac{\sum O}{\sum N}, \quad (10)$$

где $\sum O$ – сумма простоев всех составов;

$\sum N$ – сумма количества составов.

В работе [8] авторы по результатам моделирования определили «узкие места» на станции – путевое развитие станции. Авторы считают, что недостаточное количество путей в парках станции замедляет весь процесс работы станции и приводят к вынужденной дополнительной переработке вагонов. Для определения дополнительной переработки вагонов данного назначения рекомендуется следующая формула

$$m_{\text{доп}} = \left[m_{\text{н}} - m_{\text{ф}} + \frac{\sqrt{N_i} (19 - 0,1 \cdot K) \cdot (1,5 + N_i \cdot 10^{-3})}{0,4 \cdot n_{\text{пр}}} \right] \cdot \frac{N_i}{m_{\text{н}}}, \quad (11)$$

где $m_{доп}$ – размер дополнительной переработки для назначения;
 m_n – длина формируемого состава;
 $m_{ф}$ – фактическая длина пути;
 N_i – среднесуточный вагонопоток назначения;
 K – число назначений по плану формирования;
 $n_{пр}$ – среднее число поездов, поступающих в расформирование.

В.А. Федотов [9] использовал статистическую модель для решения задачи определения «узких мест» (при переработке вагонов) в работе сортировочной станции. В процессе моделирования на станцию поступающий поездопоток рассматривается как случайный и для каждого поезда устанавливается набор параметров, определяющих технологию и продолжительность его обслуживания. При этом автор разделил станцию условно на три взаимосвязанные фазы обслуживания. Недостатком предложенного метода является то, что не обеспечивается адекватность модели, потому что моделирование продолжительности нахождения вагона в каждой фазе обслуживания выполняется без учета отдельных технологических операций.

К.К. Таля [10, 11] сформулированы основные проблемы и подходы к моделированию станций, приведены описания моделирующих алгоритмов и результаты исследований, а также рассмотрена проблема выбора очередности передвижений при возникновении конфликтных ситуаций. В работе [11] для решения проблемы предлагается установить систему правил по выбору очередности и для этого сформулировано пять правил выбора. Эти правила используются в модели станции при необходимости одновременной установки пары враждебных маршрутов. А в работе [10] рассматриваются способы выбора вариантных маршрутов, и при этом рекомендуется при разработке модели станции список вариантных маршрутов дополнять данными о порядке их предпочтения.

Т.Н. Федотова [12-14] приведено описание и результаты применения имитационной модели сортировочной станции. Разработанная модель предусматривает имитацию выполнения всех технологических операций выполняемых с поездами и вагонами во всех парках станции, в том числе и процесс накопления вагонов в СП. Обслуживание поезда (вагона) в каждом парке станции моделируется как одна сквозная операция, что существенно сокращает время моделирования, но не соответствует реальному технологическому процессу работы станции. Кроме того, такой подход может

вызвать необоснованные задержки в обслуживании поездов (вагонов) с более низким приоритетом.

В.А. Персианов, К.Ю. Скалов и Н.С. Усаков [15] рекомендуют применять системный подход к построению модели железнодорожной станции для проверки надежности ТС и системы обслуживания определения пропускной способности станций, а также при выборе вариантов проектных решений.

В работах А.В. Быкадорова [16] и А.В. Быкадорова и П.Р. Потапова [17] предложено использовать математический аппарат ТМО для моделирования работы сортировочной станции. Так, в [16, 17] рассматривается возможность применения методов ТМО для исследования работы ПП [16] и СП [17] сортировочной станции. Здесь, ТМО используется для определения показателей работы ПП и СП в различных условиях. Недостатком предложенных методов моделирования работы сортировочной станции является то, что вагонопоток, поступающий для обслуживания, рассматривается как простейший, а интенсивность обслуживания принята постоянной. Это не соответствует реальным условиям работы сортировочных станций.

А.Г. Миркин [18] и В.А. Ивницкий [19] на основе ТМО разработали имитационную модель для решения вопросов прогнозирования и планирования работы сортировочных станций. Разработанные имитационные модели могут быть использованы для планирования работы сортировочной станции в условиях реконструкции или закрытия ТС. С помощью модели выполняется оценка различных вариантов организации работы сортировочной станции в таких условиях [18], а также рассматривается возможность применения разработанной модели для нормирования различных показателей работы станции [19].

В.А. Покавкин [20] разработал модель сортировочной станции для нормирования показателей ее работы и загрузки устройств, а также предложил методику для моделирования процесса накопления вагонов в СП. По результатам моделирования определяется поэлементные времена нахождения транзитных вагонов с переработкой ($t_{пер}$) на станции. При моделировании учитываются вероятностные характеристики поездопотоков и интенсивность их обслуживания, но не учитывается занятие элементов путевого развития парках станция при перемещении подвижного состава, кроме этого, автор в работе [20] не учитывал некоторые элементы $t_{пер}$ на станции (например, $t_{з/о}^{пп}$, $t_{з/о}^{по}$, $t_{ож}^{обр}$, t_T и $t_{об.торм}$), это существенно снижает ее адекватность.

Е.А. Сотников [21] предложил методику для построения модели сортировочной станции с помощью ЭВМ. Предложенная модель сортировочной станции представляет собой набор программных модулей, каждый из которых

моделирует начало и окончание операций определенной технологической последовательности. При этом учитываются случайные колебания входящего поездопотока и неравномерность их обслуживания. Вместе с тем, процесс разработки программных модулей достаточно трудоемкий, что в свою очередь существенно ограничивает применение представленной методики.

П.С. Грунтов и В.А. Захаров [22, 23] разработали имитационную систему для моделирования сортировочных станций. Разработанная модель применяется для прогнозирования работы сортировочных станций в различных условиях и при выборе вариантов технических решений. Недостатком предложенной имитационной модели является укрупненное рассмотрение технологических процессов работы станции при переработке поездов и вагонов в парках станции. Вместе с тем, этот недостаток не позволяет достаточно точно моделировать работу станции. В работе [24] П.С. Грунтов разработал имитационную модель сортировочной станции для прогнозирования показателей эксплуатационной надежности сортировочных станциях. По результатам моделирования определяются показатели надежности работы основных парков, объем работы станции за период моделирования, время нахождения транзитных вагонов с расчленением по элементам по назначениям ПФП. Недостатком разработанной модели является то, что в программе не отражены ряд дополнительных операций, которые выполняются с вагонами, как, например, очистка, промывка, пропарка и т.д.

П.А. Козлов [25] разработал универсальную систему моделирования работы сортировочной станции ИСТРА. Разработанная система ИСТРА, успешно применяется для построения моделей любых станций. На станции имитационная модель ИСТРА применяется для оперативного планирования работы станции в изменяющихся условиях и при разработке автоматизированного рабочего места ДСЦ.

П.Б. Романова [26] разработала имитационная модель работы станции для оценки значение $t_{пер}$. Эта модель дает возможность моделировать работу сортировочной станции от момента прибытия до момента отправления вагона. Однако для моделирования $t_{пер}$ не учтены ряд элементов составляющих $t_{пер}$, как, например, $t_{з/о}^{пн}$, $t_{з/о}^{по}$, $t_{т}$, $t_{об.торм}$ и $t_{ож}^{от}$.

К.Е. Ковалев и В.С. Тимченко [27] разработали имитационную модель для оценки продолжительности занятости путей станции в условиях различного количества бригад ТО. Кроме того, также можно производить оценку достаточности численности бригад ТО на станции для пропуска планируемого поездопотока.

С.С. Котельников [28] разработал имитационную модель работы сортировочной станции для определения потребности технических и технологических параметров при изменении общего количества поездопотоков. Недостаток предложенной модели: в программе не отражены ряд элементов времени нахождения вагонов, которые выполняются с вагонами, как, например, $t_{з/о}^{пп}$, $t_{з/о}^{по}$, $t_{ож}^{от}$, $t_{нак}$ и $t_{фор.пер}$.

Ш.М. Суюнбаев в своей диссертационном исследовании [29] рассмотрел два варианта (полного и неполного – 80% поездов) совершенствования организации вагонопотоков на сортировочной станции с применением твердого графика. Результатом исследования стала возможность определить экономически обоснованные сферы применения разных типов графика движения, таких как полного, неполного и гибкого.

А.А. Светашев [30] исследовал вопросы определения влияния расписания грузовых поездов по отправлению в условиях твердого ГДП на показатели составаобразования. В результате исследования предложено, что при малых размерах суточных графиковых размеров движения необходимо более рационально определять время отправления грузовых поездов, чтобы сократить затраты времени в процессе переработки вагонопотоков.

Опыт работы зарубежных железных дорог по нормированию технико-эксплуатационных показателей, в.т.ч. времени нахождения вагонов, а также рациональной организации и управлению вагонопотоками сортировочных станций представляет интерес для специалистов железнодорожного транспорта Республики Узбекистан.

Выполнение времени нахождения на сортировочной станции вагонов и рациональной организации и управлению вагонопотоками сортировочных станций на зарубежных железных дорогах, таких как США, государств Европы и СНГ рассматривается как важный фактор расширения железнодорожных услуг.

Наиболее интенсивно совершенствовались методы по организации и управлению вагонопотоками сортировочной станции в Германии, США, Украины и Китай.

J. Samaj, J. Lalinska, J. Masek [31] разработали технико-эксплуатационную модель по организации движения вагонопотоков по сети железных дорог Словакии для рационального формирования поездов. Данная модель дополняет теоретическую проблему формирования поездов новыми подходами к оценке факторов, влияющих на организацию вагонопотоков. Однако при

моделировании работы станции величины факторов рассматриваются как межоперационной ожидания, а не причины потери.

[S.I. Muzykina](#), [M.I. Muzykin](#), [G.I. Nesterenko](#) [32] разработали методы расчета перерабатывающей способности сортировочной горки с целью рациональной организации вагонопотоков на станциях Украины. Однако авторы при разработке метода не учтены случайные факторы, возникающие при переработке вагонопотоков на СГ.

В исследовании [G.I. Nesterenko](#), [M.I. Muzykin](#), [V.L. Horobets](#), [S.I. Muzykina](#) [33] проанализированы работы по организации вагонопотоков одной из сортировочной станции Украины, с целью сокращения времени нахождения вагонов. В результате анализа даны рекомендации по сокращению непроизводительных ожиданий при формировании поездов.

[Chao Zhang](#), [Yu Wei](#), [Guiping Xiao](#), [Zhigao Wang](#) [34] на основании исследования 10 модернизированных сортировочных станций в Китае даны рекомендации по совершенствованию работы сортировочной станции на основе моделирования всех процессов выполняемых с вагонами.

[Wenliang Zhou](#), [Xia Yang](#), [Jin Qin](#), [Lianbo Deng](#) [35] разработали модель, позволяющую минимизировать среднее время нахождения вагонов с учетом ограничений на минимальные интервалы времени прибытия поездов в расформирование. Однако авторы в работе не учитывали некоторые причины потерь, что существенно снижает ее адекватность.

[Rene Schönemann](#) [36, 37] разработал методы повышения качества организации работы сортировочной станции на основе событий. Однако при разработке не учтены случайные факторы, влияющие на выполнение технико-эксплуатационных показателей работы станции.

[Maria Gisela Bardossy](#) [38] разработал имитационную модель работы станции с учетом длины поезда и времени прибытия для усовершенствования процесса расформирования поездов на сортировочной станции. К недостаткам разработанной модели можно отнести сложность подготовки исходных данных для создания модели конкретной станции.

[Bengt Sandblad](#), [Joakim Storck](#) [39] разработали имитационную систему, которая может способствовать совершенствованию методов движения поездов, планирования и эксплуатации. Недостатком предложенной имитационной модели является укрупненное рассмотрение технологических процессов работы станции по организации и управлению вагонопотоками.

[Marin Marinov](#) [40] разработал предложения по повышению эффективности организации, планированию и управлению движением поездов в сети железных дорог, в.т.ч. на сортировочной станции. В настоящей

исследование обсуждаются формы эксплуатации поездов, проблемы управления железнодорожным движением и диспетчеризации поездов, технические схемы железнодорожных станций, а также разработка расписания движения поездов. Приводится также описание аналитических методов, методов моделирования для анализа и оценки работы железнодорожных станций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают изученные работы вопросам совершенствования методов технико-эксплуатационных оценок организации и управления вагонопотоками сортировочных станций, а также учета, анализа и сокращения непроизводительных потерь при переработке вагонов на сортировочной станции посвящены работы многих ученых, однако большинство из них раскрывают отдельные аспекты проблемы, не предлагая универсального механизма оценки и общего подхода.

REFERENCES:

1. Шабалин Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н.Н. Шабалин – М.: «Транспорт», 1973. – 184 с.
2. Шабалин Н.Н. Исследование оптимальных условий переработки вагонов на сортировочных станциях. Автореф. дис... д-ра техн. наук. Москва. – 1968. – 44 с.
3. Акулиничев В.М. Определение межоперационных простоев вагонов на сортировочных станциях / В.М. Акулиничев, В.И. Бодюл, Г.Е. Казюлин // Перспективная технология работы железных дорог: труды МИИТ. – 1974. №379. – С. 3-32
4. Васильев Г.С. Нормы для расчета плана формирования поездов / Г.С. Васильев // Вестник ВНИЖТа. – 1964, №8, С. 51-54.
5. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков, железных дорог. (Исследование операций на станциях) / И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.
6. Федотов Н.И. Простой поездов и локомотивов на участковых и сортировочных станциях. В кн.: Проектирование и организация работы железнодорожных станций. Труды НИИЖТ. №54. Новосибирск, Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1966, С. 34-47.
7. Шабалин Н.Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях / Н.Н. Шабалин // Труды МИИТа. – 1970. №333. – С. 66-85.
8. Ветухов Е.А. Определение уровня загрузки станций методом моделирования их работы на ЭЦВМ / Е.А. Ветухов, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 1969. №7. – С. 34-37.

9. Федотов В.А. Определение продолжительности простоя вагонов на станции в ожидании обслуживания методом моделирования на ЭВМ / В.А. Федотов // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 1975. №497. – С. 143-149.
10. Таль К.К. О классификации методов моделирования, используемых для расчета станций и узлов / К.К. Таль // Вопросы проектирования и расчета железнодорожных станций и узлов: сб. тр. ЦНИИС. – М.: – 1976. №90. – С. 74-90.
11. Таль К.К. Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станции и узлов / К.К. Таль // сб. тр. ЦНИИС. – М.: – 1971. №47. – С. 56-96.
12. Федотова Т.Н. Имитация работы парков сортировочной станции на ЭВМ / Т.Н. Федотова // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. науч. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 68-72.
13. Федотова Т.Н. Моделирование транспортных систем с приоритетами / Т.Н. Федотова // Вопросы проектирования железнодорожных станций: межвуз. сб. науч. тр. – Москва: МИИТ, 1978. №589. – С. 97-107.
14. Федотова Т.Н. Статистическое моделирование работы сортировочных станций на ЭВМ / Т.Н. Федотова // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. науч. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 60-67.
15. Персианов В.А. Моделирование транспортных систем / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усаков. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
16. Быкадоров А.В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания / А.В. Быкадоров // сб. тр. НИИЖТа. – 1973. №146. – С.63-80.
17. Быкадоров А.В. Исследование процессов в сортировочном парке / А.В. Быкадоров, П.Р. Потапов // Труды НИИЖТ. – 1974. №158. – С. 27-49.
18. Миркин А.Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования / А.Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. №3. – С.7-10.
19. Ивницкий В.А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования / В.А. Ивницкий, А.Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. №7. – С.7-10.
20. Покавкин В.А. Нормирование показателей работы и загрузки устройств сортировочных станций / В.А. Покавкин // Железнодорожный транспорт – 1972. №11. – С.14-17.

21. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций / Е.А. Сотников. – М.: Транспорт, 1979. – 239 с.
22. Грунтов П.С. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ / П.С. Грунтов, В.А. Захаров // Гомель, 1981. – 152 с.
23. Грунтов П.С. Решение практических задач с помощью моделирования работы станций / П.С. Грунтов, В.А. Захаров // Железнодорожный транспорт. – 1979. №1. – С. 22-25.
24. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций / П.С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
25. Козлов П.А. Универсальная имитационная система транспорта ИСТРА / П.А. Козлов // Организация работы транспорта промышленных предприятий: Межвуз. сб. – Калинин: изд-во КГУ, 1984. – С. 41-53.
26. Романова П.Б. Формирование поездов различной массы и длины / П.Б. Романова, С.А. Цыганов // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. №6. – С. 71-76.
27. Тимченко В.С. Оценка длительностей занятия приемо-отправочных путей технической станции методом имитационного моделирования / К.Е. Ковалев, В.С. Тимченко // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. №3. – С. 43-46.
28. Котельников С.С. Имитационное моделирование работы станций / С.С. Котельников // Современные проблемы транспортного комплекса России: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2011 – С. 82–86.
29. Суюнбаев Ш.М. Закономерности поездообразования на технических станциях при отправлении поездов по ниткам твердого графика: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: ПГУПС. – 2011. – 176 с.
30. Светашев А.А. Закономерности составообразования на сортировочных станциях: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: ПГУПС, 2015. – 151 с.
31. Camaj J. The Management of Assessment and Allocation of Marshalling Yards and Designation Their Catchment Areas / J. Camaj, J. Lalinská, J. Masek // Bulletin of the University of Zilina Univerzita. No. 4 2015 pages. 241-247
32. Muzykina S.I. Study of working capacity of the marshalling yard / S.I. Muzykina, M.I. Muzykin, G.I. Nesterenko // Bulletin Dnipropetrovsk national University of railway transport, Ukraine, 2016, No. 2 (62) pages. 47-58
33. Nesterenko G.I. Study of car traffic flow structure on arrival and departure at the marshalling yard X / G.I. Nesterenko, M.I. Muzykin, V.L. Horobets, S.I. Muzykina // Bulletin Dnipropetrovsk national University of railway transport, Ukraine, 2016, No. 1 (61) pages. 85-97

34. Chao Zhang. Analysis of Hump Automation in China / Chao Zhang, Yu Wei, Guiping Xiao, Zhigao Wang // Conference Information Second International Conference on Transportation and Traffic Studies (ICTTS) July 31-August 2, 2000 | Beijing, China. Pages 51-55
35. Wenliang Zhou. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis / Wenliang Zhou, Xia Yang, Jin Qin, Lianbo Deng // The Scientific World Journal, Department of Civil and Environmental Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, USA, Volume 2014. Pages 3710-3723.
36. Rene Schönemann. Scheduling rail freight node operations through a slot allocation approach / Reny Schönemann // Dissertation des Doktors der Ingenieurwissenschaften - Berlin 2016. Pages 217
37. Reny Schönemann. Productivity and Scheduling of Intermodal Terminals in a Railroad Network Context / René Schönemann // Technische Universität Berlin, Chair of Railway Track and Operations. Article for the Heart 2014 conference August 15, 2014. Pages 1-16
38. Maria Gisela Bardossy. Analysis of Hump Operation at a Railroad Classification Yard / In Proceedings of the 5th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH-2015), // Information Systems and Decision Science, University of Baltimore, Baltimore, U.S.A. pages. 493-500
39. Bengt Sandblad. A train traffic operation and planning simulator / Bengt Sandblad, Arne Andersson, Karl-Einar Jonsson, Peter Hellström, Per Lindström, Johnny Rudolf, Joakim Storck, Magnus Wahlborg // Bulletin of the Swedish national Railway Administration, Borlänge, Sweden, No. 3, 2000. Pages 411-419
40. Marin Marinov. Railway operations, time-tabling and control / Marin Marinov, Ismail Sahin, Stefano Ricci, Gordana Vasic-Franklin // Volume 41, Issue 1, May 2013. Pages 59-75
41. Butunov D.B. Improvement of technical experimental methods for organization of wagon flows and management evaluation at sorting stations. Dis. ... doc. Phil. (PhD). Tashkent: TashIIT. – 2019. – 187 p.
42. Бутунов, Д.Б. Оценка непроизводительных потерь в работе сортировочной станции / Д.Б. Бутунов, А.Г. Котенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 498-510. – EDN ZAMGIP.
43. Butunov D.B. Monitoring of temporal and quantitative characteristics of losses in the operation of the sorting station / D.B. Butunov // XVI International scientific-practical conference: “Innovative development of modern science”. Russia, city Anapa, October 10, 2019 p. 28 - 31.
44. Mardonbek Saburov, Dilmurod Butunov, Sokijon Khudayberganov, Sunnatillo Boltaev, Muslima Akhmedova, Mukhamedjan Musaev. Determination of the optimal requirement of the number of freight wagons. AIP Conference Proceedings 2432, 030091 (2022). 030091-1-030091-5. <https://doi.org/10.1063/5.0090343>