

УДК 656.073.72

Е.Д. Псеровская, И.Н. Кагадий

Оценка влияния основных параметров грузовой станции на ее перерабатывающую способность

В статье рассмотрены проблемы взаимодействия железнодорожных станций и промышленных предприятий в условиях неравномерности эксплуатационной работы, вызванной переходом российских железных дорог к работе с приватным вагонным парком.

Проанализированы характерные особенности процесса перевозок грузов железнодорожным транспортом, приведены принципиальные схемы воздействия основных факторов на качественное взаимодействие основных участников перевозочного процесса. Основное содержание исследования составляет анализ взаимодействия железнодорожных станций и обслуживаемых ими объектов промышленного транспорта. Выявлена и обоснована необходимость моделирования транспортных процессов на грузовых станциях и местах необщего пользования.

На основе проведенного исследования автором предложены рекомендации к созданию имитационной модели функционирования грузовой станции. Разработанная с применением адаптивного программирования *AnyLogic* модель соответствует структуре и технологическому процессу работы станций и грузовых пунктов, позволяет решить вопрос оптимизации перерабатывающей способности железнодорожных грузовых станций. Использование имитационной модели функционирования грузовой станции, проведение оптимизационных экспериментов с моделью и оценка перерабатывающей способности позволяют корректировать размеры местной работы с целью наилучшего использования выгрузочных мощностей мест одно-временной погрузки-выгрузки грузовых вагонов и оптимальной загрузки станционных объектов. Процессный подход ко взаимодействию станции примыкания и объектов промышленного транспорта позволит сократить транспортные затраты, возникающие при обслуживании путей необщего пользования. Практическая значимость исследования состоит в повышении функциональной надежности грузовых станций по обслуживанию клиентов железнодорожного транспорта на местах необщего пользования, сокращении транспортных расходов, а также обеспечении ритмичности грузовых перевозок.

Ключевые слова: *местная грузовая работа, системная динамика, грузовая станция, место необщего пользования, имитационное моделирование.*

Анализ функционирования грузовых железнодорожных станций и мест необщего пользования (МНОП) является необходимым элементом при составлении Единого технологического процесса работы станций примыкания и объектов промышленного транспорта [1]. При отсутствии возможности обработать поступающий на станции объем заявок на обслуживание нарушается технологический процесс работы станций примыкания, следовательно, замедляется оборот вагона, не выполняются плановые показатели. Вагоны в ожидании выгрузки приходится распределять по станциям региона, что создает серьезную угрозу продвижению вагонопотоков на участках железных дорог. В сложившейся ситуации на станциях и путях необщего пользования (ПНП) не освобождается подвижной состав, из-за занятости железнодорожных путей возникают технологические затруднения в работе станций, производятся дополнительные маневровые работы, компания ОАО «РЖД»

несет существенные убытки от многодневного простоя вагонов и несоблюдения сроков доставки груза. При изучении возможностей станции по освоению объемов грузовой работы и связанного с этим изменения показателей использования технических средств и подвижного состава необходимо учитывать детерминированный характер местной работы и конструктивные параметры всей исследуемой системы перевозок. В случае нелинейного характера взаимодействия любых исследуемых параметров приводит к тому, что «интенсивность реакции не всегда пропорциональна интенсивности воздействия» [2]. Указанный эффект запаздывания усложняет описание функционирования системы, в том числе транспортной.

Процесс организации грузоперевозок как модель в общей сложности включает в себя три основных звена: управление продвижением поездопотоков на сети железных дорог (т.е. движущие операции), нахождение и переработку вагонопотоков на технических

станциях, а также местную работу на грузовых станциях по обслуживанию владельцев промышленного транспорта. В современных условиях, когда диспетчерский аппарат пытается адекватно реагировать на сложившуюся ситуацию по регулированию продвижения частных вагонов на сети дорог, основная сложность приходится именно на грузовые станции, поскольку характер местной работы становится крайне не прогнозируемым [3].

В работах [1, 4, 5] отмечено, что систематизация основных факторов, способных повлиять на перерабатывающую способность станций, позволит рационально использовать имеющиеся ресурсы для улучшения функционирования станций и МНОП. На рис. 1 отображен механизм действия факторов, определяющих рациональное соотношение вагонных парков и вместимости путей станции, МНОП.

Следуя представленной схеме определения загруженности станций, нужно учитывать, что перечисленные операции неоднородны и отличаются своей продолжительностью. Если объединить некоторые из этих операций, то создаваемые на этой основе определенные этапы перевозочного процесса тем или иным образом образуют многооперационную, с большой технологической, эксплуатационной и экономической разнородностью систему. Перерабатывающая способность железнодорожных станций – основополагающий параметр транспортной инфраструктуры, который главным образом зависит от величины входящего, обрабатываемого и высвобождаемого транспортного потока. В зависимости от степени загруженности станционных элементов и характера грузовой и эксплуатационной работы могут возникать существенные затруднения в организации перевозочного процесса. Формализованное описание транспортных процессов в системе планирования, фактического исполнения и прогнозирования объемов местной работы возможно при системном подходе путем создания математической и на ее основе адекватной имитационной модели.

С развитием и внедрением информационных технологий на железнодорожном транспорте, автоматизации управления перевозочным процессом повсеместно создаются предпосылки к детальному планированию эксплуатационной и местной работы станций. С по-

мощью техники и программных продуктов, разрабатываемых с целью комплексного исследования поведения управляемых систем в реальном времени, решаются многие технологические задачи: распределение и продвижение порожних и груженных вагонопотоков, информирование клиентов о прибытии грузов, расчет провозных платежей и штрафов и т.д.

Действующая организация местных вагонопотоков имеет ряд принципиальных недостатков. Во-первых, из-за минимального количества формируемых местных поездов возникает необходимость в сгущенном поступлении вагонов на станции выгрузки. Причиной этого являются неоправданно большие расходы на их накопление в силу ограничения веса и длины сквозных поездов. В этом случае грузовые фронты могут простаивать длительное время в ожидании погрузочно-выгрузочных работ либо, наоборот, могут быть загружены так, что невозможно подать вагоны под грузовые операции, следовательно, простой в ожидании подачи значительно возрастает. Во-вторых, при организации местных вагонопотоков особое внимание уделяется минимальным расходам на накопление и формирование на технических станциях вагонов в соответствующих категориях поездов, на продвижение на участках и на простои их на станциях, при этом зачастую упускаются из виду условия работы грузовых пунктов и развитость инфраструктуры объектов промышленного и магистрального транспорта.

Таким образом, несвоевременная выгрузка и погрузка, превышение сроков доставки грузов, значительные простои на станциях, а также несогласованное распределение и продвижение частного вагонного парка придают актуальность проблеме организации местной грузовой работы на железнодорожном транспорте. Несвоевременное и порционное поступление вагонов под грузовые операции, недетерминированный режим работы грузовых пунктов и чрезмерно большие колебания объемов местной работы, несоответствие количества ПНП и обслуживающих их маневровых локомотивов, непрогнозируемый характер зарождения и продвижения грузов приводят к необходимости совершенствования технологии обработки местных вагонопотоков.

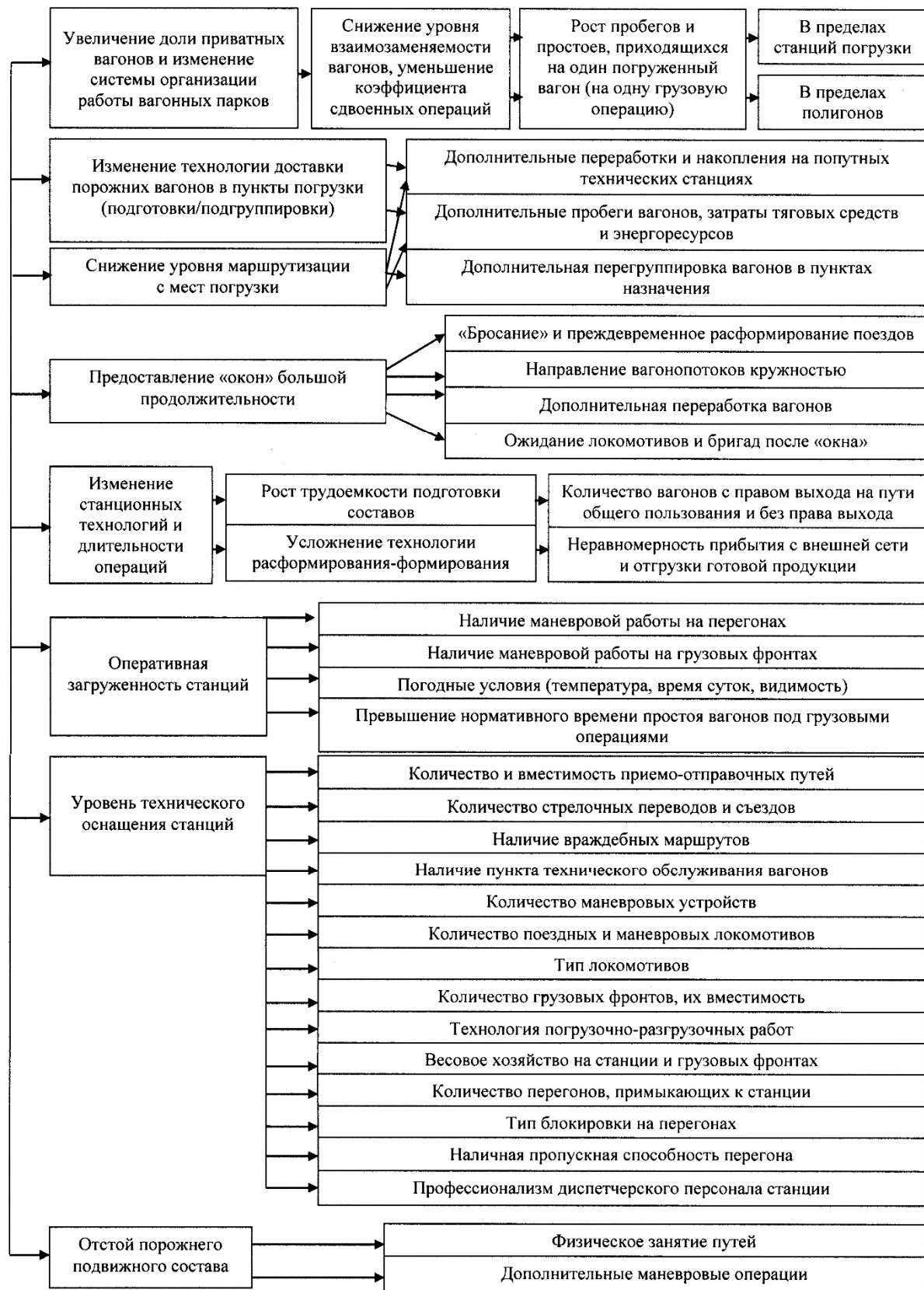


Рис. 1. Механизм действия факторов, определяющих рациональное соотношение вагонных парков и вместимости путей станции

В работе [6] указано, что в реальных условиях характер прибытия местных вагонов на станцию в различные сроки не является стабильным, а изменяется по количеству вагонов, времени их прибытия и назначению (грузополучателям). Это означает, что от фактического поступления местных вагонов на станцию зависит, как будут загружены основные технологические линии и насколько станция вообще будет способна обработать такой объем грузового движения. Учитывая факт стохастического подвода местного груза на станции железнодорожных участков, его ежегодные возрастающие объемы, а также наличие большого количества ПНП, обслуживание которых осуществляется ограниченным числом маневровых локомотивов, необходимо планировать реальную работу с местными вагонами, адекватно реагируя на все изменения технологического и оперативного характера.

Имитационная модель позволяет получить широкий простор в решении такого рода вопросов. Анализ чувствительности поведения транспортной системы позволяет рассмотреть множество сценариев при изменении одной или нескольких переменных в модели, например, возможность более оперативно корректировать величину рабочего парка, а следовательно и объем входящего вагонопотока [7]. Единицей имитационного времени модели являются минуты. Так как нахождение вагона на определенном этапе своей обработки в течение суток разбивается с точностью до минуты, можно посмотреть работу станции в любой промежуток времени.

Виртуализация позволяет самостоятельно задавать различные параметры:

- количество прибывающих передаточных и маршрутных поездов;
- количество приемо-отправочных путей (ПОП);
- количество вагонов в составе прибывающих передаточных и маршрутных поездов, а также поездов, формируемых на отправление;
- тип расформирования (осаживание или толчки);
- количество маневровых локомотивов;
- время прибытия поездов (согласно графику движения поездов или интервалу прибытия);
- время на грузовые операции;

- количество вагонов в отцепе при расформировании;

- количество вагонов в подаче на грузовой фронт;

- время обработки составов по прибытии и отправлении со станции.

В процессе исследования построена имитационная модель существующей железнодорожной грузовой станции *И*, обеспечивающая нормальный режим обслуживания примыкающих к станции ПНП в условиях разного количества вагонов в прибывающих поездах и изменения интервала прибытия передаточных и маршрутных поездов на станцию. По итогам имитации были определены основные эксплуатационные показатели работы грузовой станции. Адекватность измерителей, полученных при моделировании, можно подтвердить реальными статистическими и отчетными данными функционирования ст. *И*. По результатам можно сравнить несколько вариантов организации железнодорожных перевозок между станцией и промышленными объектами и выбрать оптимальный с точки зрения ограничения функциональной надежности по обработке поступающих в транспортную систему вагонов [8, 9].

Модель функционирует на основе данных о нахождении вагонов с грузом и без него в соответствующих блоках исследуемой транспортной системы. Переход от одного блока к другому осуществляется в соответствии с технологией работы станции примыкания и учетом временных интервалов, величины которых зависят от моделируемых в данный момент операций с вагонами. Для расчета параметров имитации функционирования грузовой станции и ПНП использовались статистические данные о прибытии поездов на ст. *И*, нормы на выполнение маневровых операций, установленные документами [10, 11] и технологическим процессом работы станции и примыкающего ПНП. Интерфейс задания данных для моделирования приведен на рис. 2, а фрагмент имитации – на рис. 3.

На основе результатов многократного точного моделирования могут быть получены данные об изменении перерабатывающей способности станции при варьировании параметров выполнения станционных операций. Необходимо проверить поведение исследуемой системы при изменении таких величин,

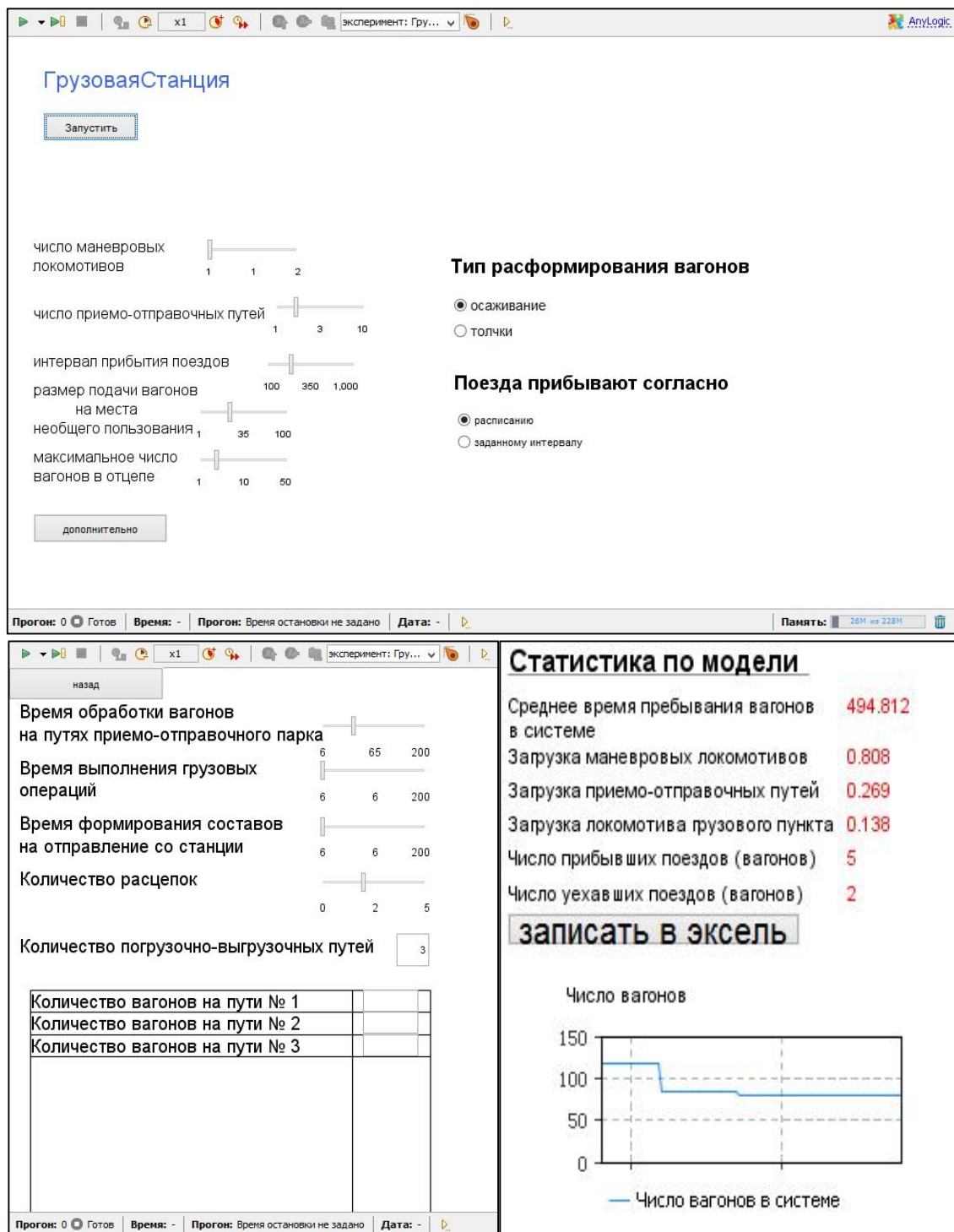


Рис. 2. Интерфейс программы и сбор статистики моделирования

как количество ПОП, время обработки в парках прибытия и отправления станции, время расформирования, количество локомотивов, время занятости маневровых локомотивов (или их загрузка), время выполнения грузовых операций (погрузки-выгрузки), время формирования составов на отправление и рабочий парк вагонов. Для анализа брались средние результаты моде-

лирования по десяти экспериментам суточного моделирования каждого исследуемого параметра. При этом максимальное количество вагонов в подаче на ПНП составляет 45. Несмотря на то что длины очередей в модели не контролировались, задержки в обслуживании возникали в силу неравномерной занятости станционных объектов и пунктов погрузки-выгрузки.

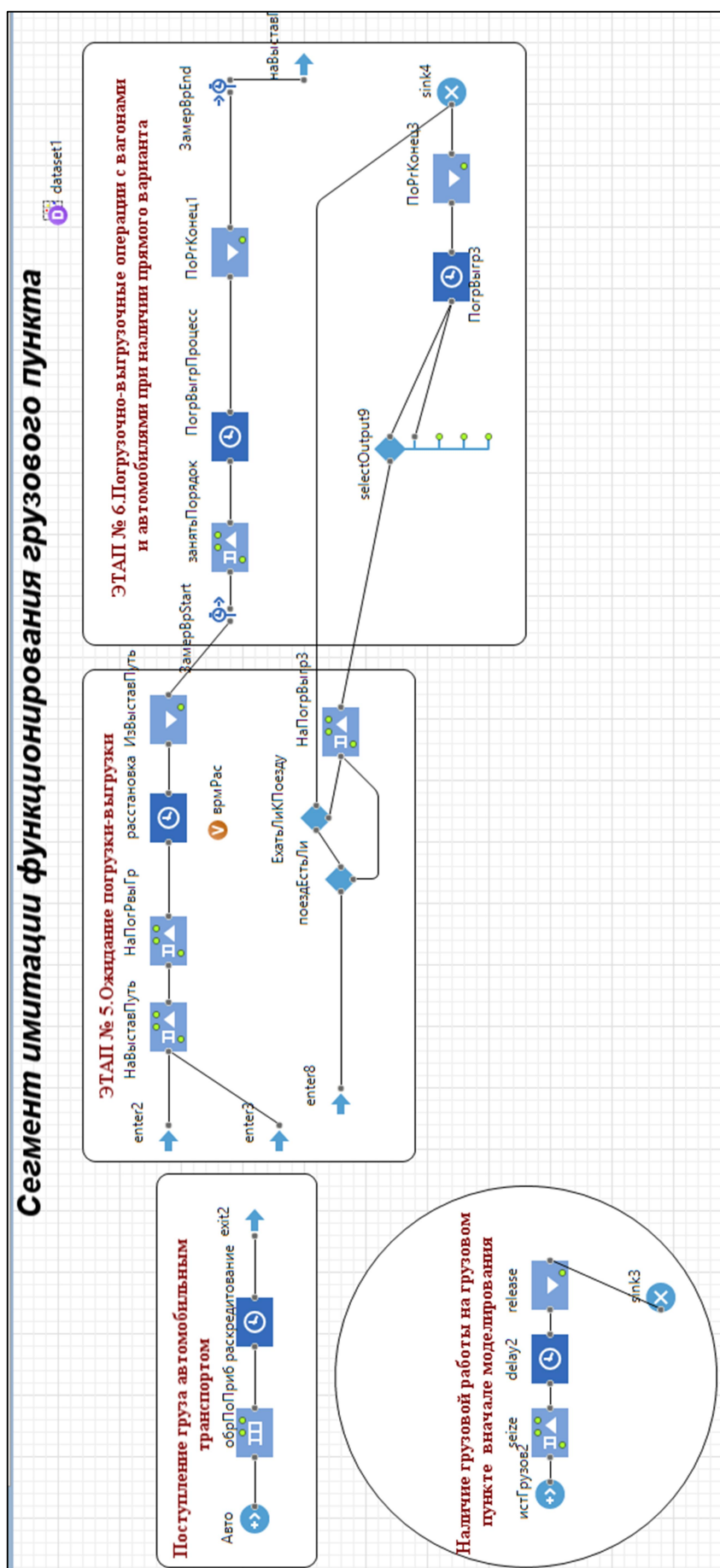


Рис. 3. Фрагмент работы имитационной модели «Грузовая станция – путь необщего пользования»

На основе исполненной модели возможно определить основные показатели, такие как простои вагонов в ожидании подачи и уборки на грузовой фронт, загрузка локомотива, свобода путей погрузки-выгрузки, и оптимизировать работу предприятия по итогам моделируемых экспериментов. Полученные результаты моделирования сведены в табл. 1.

Программа может быть использована для оптимизации работы существующих грузо-

вых станций и обслуживаемых ею путей необходимого пользования.

Поскольку практически каждая грузовая станция работает с постоянно изменяющейся ситуацией по обеспечению максимального числа поданных и убранных к соответствующему времени нитки графика сборного поезда вагонов, то представляется необходимым прогнозировать и моделировать возможные вари-

Таблица 1

Результаты моделирования при изменении параметров модели функционирования грузовой станции

Наименование параметра		Значение параметра		Среднее время пребывания вагонов в системе, мин		Загрузка маневровых локомотивов, %		Загрузка приемо-отправочных путей, %		Загрузка локомотивов грузового пункта, %		Кол-во переработанных вагонов	
Кол-во ПОП		3		777,3		83		79		32		45	
		4		716,2		83		69		31		45	
		5		677,2		92		44		36		150	
		6		677,4		92		37		37		150	
		7		676,9		91		32		36		150	
Время обработки в парке прибытия, мин		40		755,2		83		79		32		45	
		50		868,2		89		79		34		45	
		60		771,2		83		79		32		45	
		70		779,2		83		79		31		45	
		80		793,2		83		79		31		45	
Расформирование, мин	Тип расформирования	Осаж.	Толчки	Осаж.	Толчки	Осаж.	Толчки	Осаж.	Толчки	Осаж.	Толчки	Осаж.	Толчки
		3		747,5	779,3	80	83	61	79	31	30	150	45
	Кол-во вагонов в отцепе	5		775,3	773,3	80	82	79	79	30	30	45	45
		7		779,3	775,3	83	83	79	79	30	30	45	45
		10		777,25	771,3	83	83	79	79	30	30	45	45
		12		775,25	689,3	83	79	79	76	32	25	45	45
Кол-во локомотивов		1		772,5		83		79		30		45	
		2		685,4		50		42		24		210	
		3		576,5		41		40		20		255	
Время выполнения грузовых операций, мин		150		845,1		89		78		32		150	
		180		777,2		83		79		30		45	
		220		816,1		82		64		34		150	
		250		1 039,2		91		77		35		45	
		360		1 440,0		98		75		40		0	
Время формирования составов на отправление, мин		50		811,2		87		79		30		45	
		80		837,2		87		79		31		45	
		110		867,2		89		79		30		45	
		150		911,2		90		79		30		45	
		170		927,2		90		79		30		45	
Кол-во вагонов в подаче на грузовой пункт		10		1 085,2		98		81		52		45	
		15		1 039,3		92		83		35		45	
		20		789,3		83		78		28		105	
		30		771,2		83		79		29		45	
		35		777,2		83		79		30		45	

анты обслуживания грузовых пунктов, удовлетворяющие требованиям максимальной выгрузочной способности фронтов погрузки-выгрузки и увеличения перерабатывающей способности всей станции.

Таким образом, для исследования вопроса оптимизации местной грузовой работы на станциях и объектах промышленного транспорта на сегодняшний день актуально использовать программные продукты имитационного моделирования с последующим статистическим анализом данных экспериментов и получением функциональных характеристик управляемой моделируемой системы. Анализ результатов моделирования, представленных в табл. 1, выполнен графическим способом для наглядного отображения поведения системы при изменении ключевых параметров (рис. 4).

Из представленных корреляционных зависимостей видно, что взаимосвязь между исследуемыми величинами носит нелинейный характер. Таким образом, поведение транспортной системы обслуживания грузовой станцией ПНП соответствует случайному процессу их взаимного функционирования, и исследование влияния отдельных показателей местной работы на соответствующий характер поведения системы может быть математически закономерным, но не всегда отражающим реальную ситуационную модель. При этом характерной чертой необратимых процессов является то, что увеличение числа наблюдений не улучшает характеристики модели, а только ухудшает прогнозные и аналитические свойства модели.

Результаты множественных экспериментов с использованием модели демонстрируют, что наибольшее влияние на количество переработанных вагонов при прочих равных условиях оказывает количество маневровых локомотивов и ПОП, их загрузка в течение суток, а также величина рабочего парка вагонов, от которого зависит продолжительность грузо-

вых операций при оптимальной загрузке средств механизации на местах одновременной погрузки-выгрузки, и количество вагонов в подаче.

С учетом данных особенностей транспортной системы «грузовая станция – путь необщего пользования» были проведены два эксперимента, направленные на определение функциональной надежности грузовой станции по обработке поступающего вагонопотока. В первом эксперименте размеры входящего потока вагонов приняты с учетом случайного их поступления, а во втором – увеличены относительно существующих размеров прибытия. Результаты приведены в табл. 2, 3 и на рис. 5, 6.

При увеличении объемов грузового движения (эксперимент № 2) станция при существующей технологии работы не способна обработать поступающий вагонопоток уже на восьмье сутки, поскольку пути станции полностью загружены. Рабочий парк вагонов составляет более 190 ваг., что нарушает весь технологический процесс работы станции и создает трудности в обеспечении функциональной надежности станции в обработке и пропуске поездов. В эксперименте № 1, наоборот, функционирование транспортной системы осуществляется в нормальном режиме и имеется резерв перерабатывающей способности.

Таким образом, для эффективного управления вагонопотоками, эксплуатационной и грузовой работой железнодорожных станций с помощью имитационного моделирования при многократном экспериментальном воздействии на любую исследуемую транспортную систему возможно реально оценивать технологические возможности станций, корректировать планы местной работы, оперативно взаимодействовать с владельцами подвижного состава для выбора оптимального варианта работы.

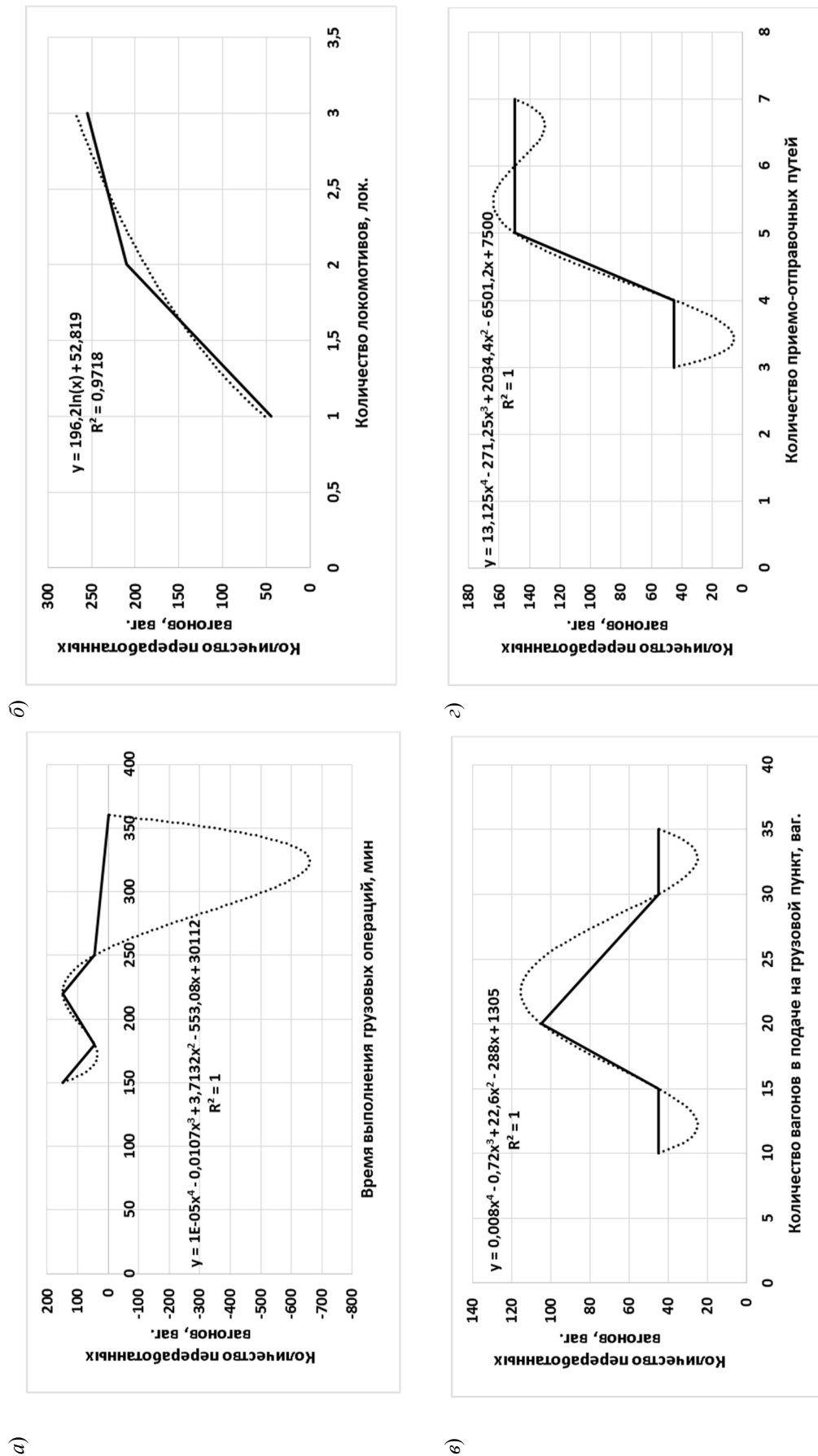


Рис. 4. Зависимости количества переработанных вагонов от времени выполнения грузовых операций с вагонами (а), количества маневровых локомотивов (б), количества вагонов в подаче (в), количества прямо-отправочных путей (г): сплошная линия – по фактическим данным; точечная – по эмпирическим формулам

Таблица 2

Многосуточный эксперимент № 1 с имитационной моделью

Параметр	Период моделирования, сут									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Перерабатывающая способность станции, ваг./сут	45	90	45	45	45	90	90	90	90	45
Входящий вагонопоток, ваг.	120	70	20	55	48	100	110	45	62	55

Примечание. Исходные данные: количество локомотивов – 1, приемо-отправочных путей – 3.

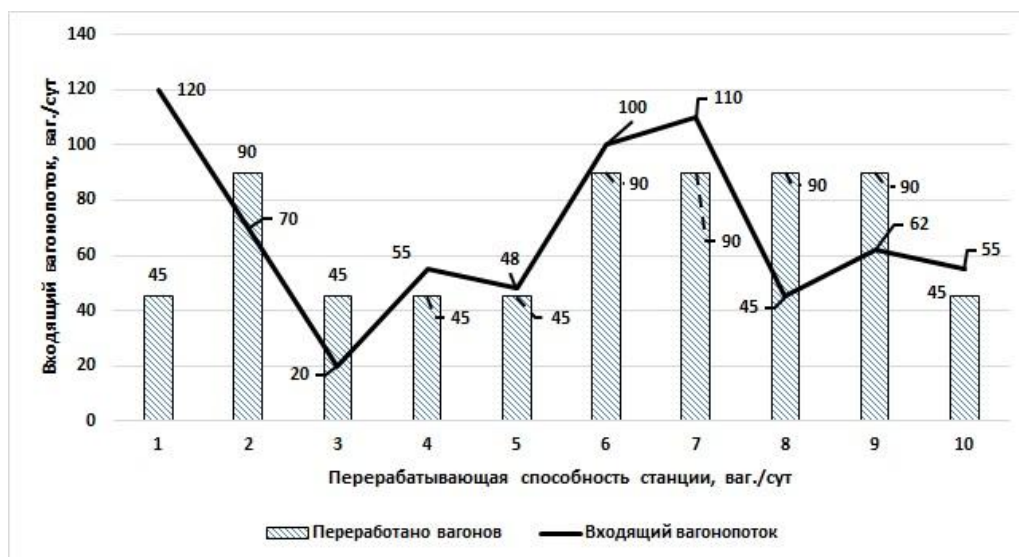


Рис. 5. Перерабатывающая способность станции в результате эксперимента № 1

Таблица 3

Многосуточный эксперимент № 2 с имитационной моделью

Параметр	Период моделирования, сут									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Перерабатывающая способность станции, ваг./сут	45	45	90	90	90	45	45	0	0	0
Входящий вагонопоток, ваг.	120	140	137	95	100	120	155	170	125	140

Примечание. Исходные данные: количество локомотивов – 1, приемо-отправочных путей – 3; рабочий парк – 190 вагонов.

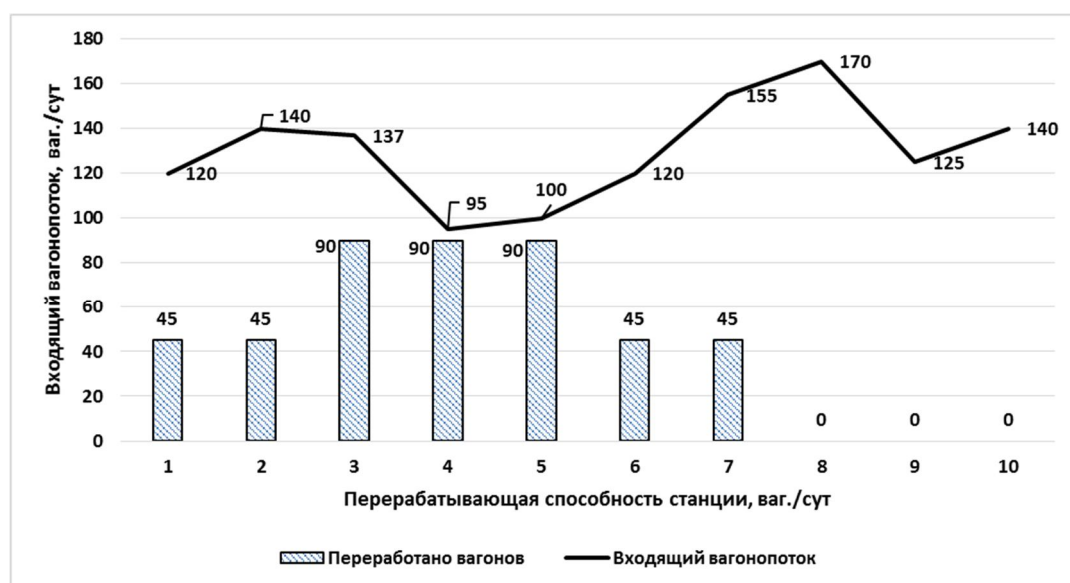


Рис. 6. Перерабатывающая способность станции в результате эксперимента № 2

Библиографический список

1. Псеровская Е.Д., Кагадий И.Н. Исследование системы «грузовая станция – путь необщего пользования» с использованием имитационной модели // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 4. С. 4–6.
2. Акофф Р. Искусство решения проблем / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 224 с.
3. Кагадий И.Н. К вопросу о влиянии перерабатывающей способности станций на регулирование вагонопотоков в современных условиях // SWorld: Сб. науч. тр. 2014. Т. 1, № 2. С. 67–74.
4. Псеровская Е.Д., Кагадий И.Н. Моделирование грузовой работы станции во взаимодействии с путями необщего пользования // Известия Транссиба. 2016. № 1 (25). С. 91–96.
5. Кагадий И.Н. Повышение функциональной надежности грузовой станции на основе оптимизации основных параметров ее работы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 164–171.
6. Рахимов К.Р. Необходимость и проблемы организации вагонопотоков на сети дорог в современных условиях // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012. № 3. С. 66–73.
7. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Anylogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.
8. Кагадий И.Н. Использование метода имитационного моделирования в местной работе железнодорожных станций // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию со дня образования Иркутского государственного университета путей сообщения. Иркутск: ИрГУПС, 2015. С. 96–99.
9. Кагадий И.Н. Системная динамика функционирования грузовой станции // Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 1. С. 26–29.
10. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов. М.: Техинформ, 2007. 98 с.
11. Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта Союза ССР № 306. М.: Транспорт, 1985. 56 с.

E.D. Pserovskaya, I.N. Kagadiy

Assessment of the Impact of Key Parameters of a Freight Station on Its Throughput Capacity

Abstract. In the present publication, we analyze the interaction of railway stations with industrial enterprises under the non-uniform field operation of wagons caused by the transition of the Russian railways to functioning with private car fleets.

Characteristics of the goods transportation process by railway transport are analyzed, and schematic diagrams illustrating the impact of main factors on the qualitative interaction of main process participants are provided. The main purpose of the study is the analysis of the interaction of railway stations with the industrial transport objects served. The necessity of modeling transportation processes at freight stations and facilities of non-common use is revealed and substantiated. Based on the performed study, we deliver recommendations for the development of a simulation model for freight-station's functioning. The model developed using adaptive programming AnyLogic perfectly fits into the structure and technological procedure of railway stations and cargo points' functioning, thus allowing optimization of the throughput capacity of freight stations. The simulation model for freight-station's functioning, optimization experiments with the model and throughput-capacity assessments permit the adjustment of the amount of the local work to be performed for the best use of unloading capacities at simultaneous loading/unloading of freight wagons and for the optimum loading of station facilities. The process approach to the interaction of a connecting station with industrial transport objects will enable a reduction of transportation costs arising when railway facilities of non-common use are serviced. The practical importance of the study consists in raising the functional reliability of freight stations in servicing railway transport customers at facilities of non-common use, in reducing transportation expenses, and in maintaining a high freight-transportation rhythm.

Key words: *local cargo work; system dynamics; freight station; facilities of non-common use; simulation modeling.*

Псеровская Елена Дмитриевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» СГУПС. E-mail: eldp-55@yandex.ru

Кагадий Игорь Николаевич – аспирант кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» СГУПС. E-mail: kagaigor@mail.ru