

# Анатомия заторов на железных дорогах



**А. Е. Красковский,**  
д-р техн. наук, профессор  
Петербургского  
государственного  
университета путей  
сообщения Императора  
Александра I (ПГУПС)



**Е. В. Зайцев,**  
аспирант ПГУПС



**А. Ю. Вахромов,**  
соискатель магистерской  
степени ПГУПС

Анализ перевозочного процесса при неравномерности движения и ограничениях пропускной способности железной дороги показывает изменения почти всех показателей эксплуатационной работы. Несмотря на случайный характер данных суточной выборки, просматриваются тренды продолжительностью до нескольких недель. Выявление трендов по методу обнаружения разладки случайных процессов позволяет определять экономичные управленческие решения для нормализации перевозок, предвеляя затруднения в пропуске поездов или заторы на железных дорогах.

Качество и надежность перевозочного процесса зависят от многих факторов. К наиболее весомым из них можно отнести затруднения перевозчика при регулировании грузопотоков из-за случайного и хаотичного характера подачи заявок грузоотправителей, а также выведение вагонного парка из общей системы управления перевозочными ресурсами.

К существенным факторам дестабилизации перевозочного процесса относятся также неполная укомплектованность парка локомотивов, недостаточное число локомотивных бригад и технические неисправности, влияние которых усиливается при частом повторении.

При действии указанных факторов очень важно вовремя продиагностировать ухудшение ситуации и не допустить ее дальнейшего развития. Задачей настоящей статьи является анализ возможностей раннего диагностирования ухудшения показателей эксплуатационной работы и обоснование принятия управленческого решения по стабилизации перевозочного процесса.

Примером сложной эксплуатационной обстановки может послужить

ситуация на Октябрьской железной дороге (ОЖД) в конце 2013 г. В этот период обмен поездов по стыку со станцией Кошта возрос почти на 20 %. Вместо 50–55 поездов ОЖД стала принимать около 60–70 поездов ежедневно (рис. 1).

В связи с неприемом станций назначения на промежуточных станциях остались брошенные поезда, снизились объемы местной работы. За два с половиной месяца увеличился оборот вагона, уменьшилась участковая скорость, упали показатели погрузки по дороге (рис. 2).

## Основные факторы дестабилизации перевозочного процесса

Чтобы выявить причины ограничения в приеме поездов, следует проанализировать работу важнейшей станции узла: Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский. Она принимает поезда практически со всех станций дороги и занимается их распределением, роспуском, формированием составов на дальние станции назначения. Ежедневно она обрабатывает более 150 поездов. Рассмотрим основные факторы, которые вызывают ухудшение работы железной дороги.

Первый из них – нехватка парка локомотивов. Для постоянного приема поездов на станцию необходимо содержать соответствующий парк электровазов и бригады для управления этими локомотивами и вывоза поездов со станции. В течение месяца содержание парка локомотивов вместо положенных 315–330 электровазов на дороге в сутки было на уровне 305–325 (рис. 3), сократился парк техники и на самой станции, вследствие чего не вывози-



Рис. 1. Количество принятых и сданных поездов с Северной дороги

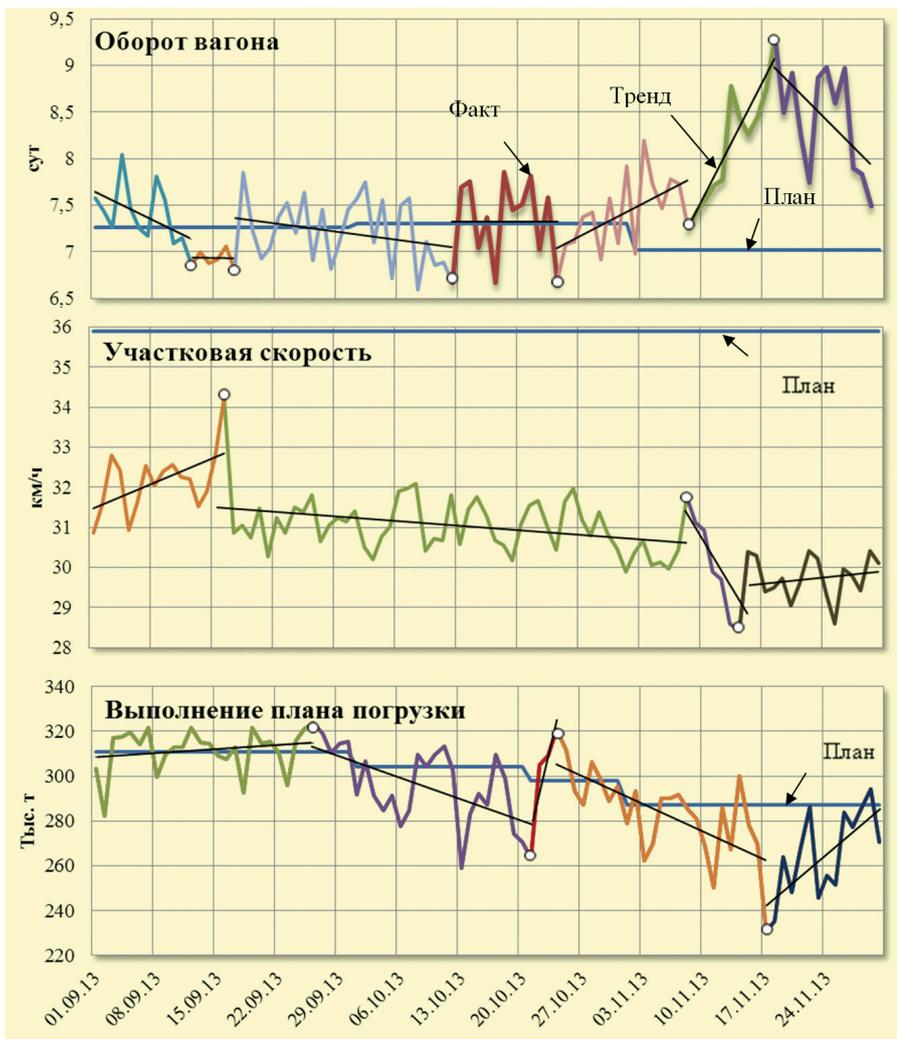


Рис. 2. Изменения показателей работы Октябрьской железной дороги с 1.09.2013 по 30.11.2013

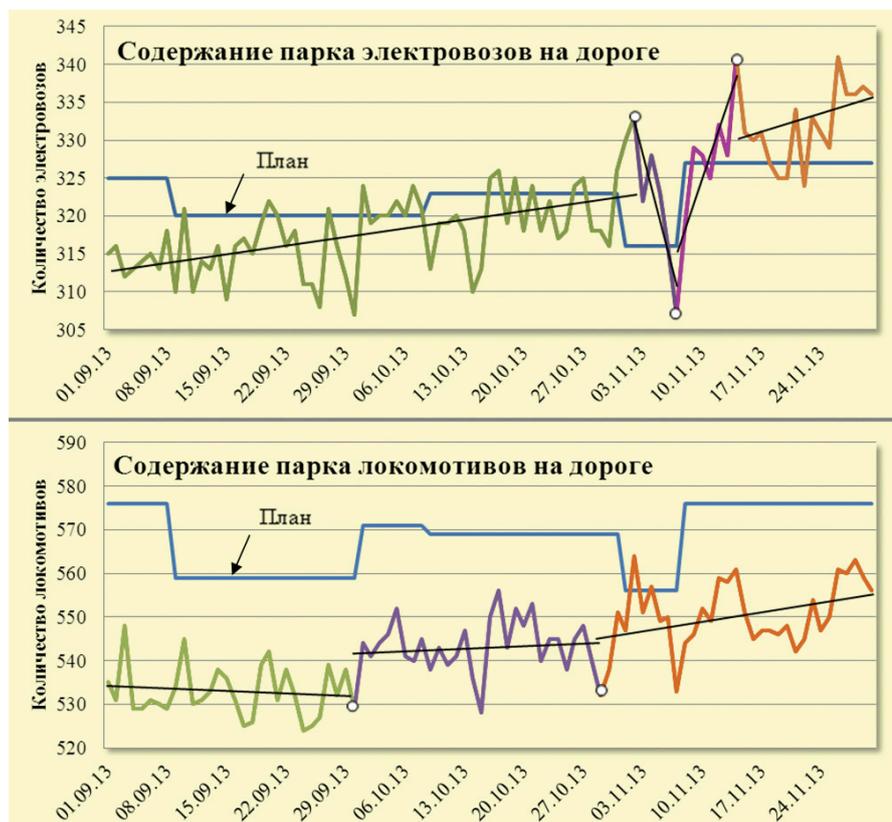


Рис. 3. Содержание парка локомотивов

лось в среднем 10–15 поездов в сутки.

При этом стали ухудшаться такие показатели перевозочного процесса, как участковая скорость и простой транзитного вагона с переработкой.

Второй фактор – невывоз поездов со станции, из-за которого возникли затруднения в приеме составов. В отсутствие возможности въехать на станцию назначения поезда оказывались отставленными от движения, брошенными. В течение нескольких месяцев их накопилось более ста по всем направлениям дороги. По станции возрос простой транзитного вагона с переработкой до 18–20 ч при норме 9–11 ч (рис. 4).

Третий фактор – неприем поездов на дорогу. По этой причине и из-за занятости боковых путей на станциях ОЖД стал образовываться затор на соседних дорогах: Горьковской и Северной. В итоге на них оказалось более 300 брошенных поездов.

Остановка главной станции дороги привела к блокированию всех железнодорожных узлов в целом. Не было возможности обгона поездов и смены локомотивных бригад на линии, вследствие чего рабочее время у бригад заканчивалось прямо на главных путях станций или межстанционных перегонах. Приходилось пропускать поезда на двупутном участке по одному пути, из-за чего упало качество выполнения графика движения грузовых поездов. Дорога стала нести убытки в связи с невыполнением своих договорных обязательств: пропуска оплаченных ниток от станции А до станции Б.

Увеличилась разница между количеством принятых и сданных поездов с Северной железной дороги (рис. 5). Образовался остаток поездов на дороге, который может быть рассчитан по формуле

$$N_0 = \sum_{i=1}^k N_n^{(i)} - N_c^{(i)}, \text{ где}$$

$k$  – количество дней отчетного периода;  
 $N_0$  – остаток поездов на дороге за весь период;  
 $N_n^{(i)}, N_c^{(i)}$  – соответственно, количество принятых и сданных поездов за день.

Четвертый фактор – предоставление «окон». Его необходимость стала еще одной причиной образования заторов на дороге. При ремонтных работах, которые проводятся три раза в неделю, составляется вариантный график. Согласно ему пропускная способность уменьшается на 10–25 %, так как обычно один



Рис. 4. Динамика простоя транзитного вагона на станции Санкт-Петербург- Сортировочный-Московский



Рис. 5. Остаток поездов на дороге

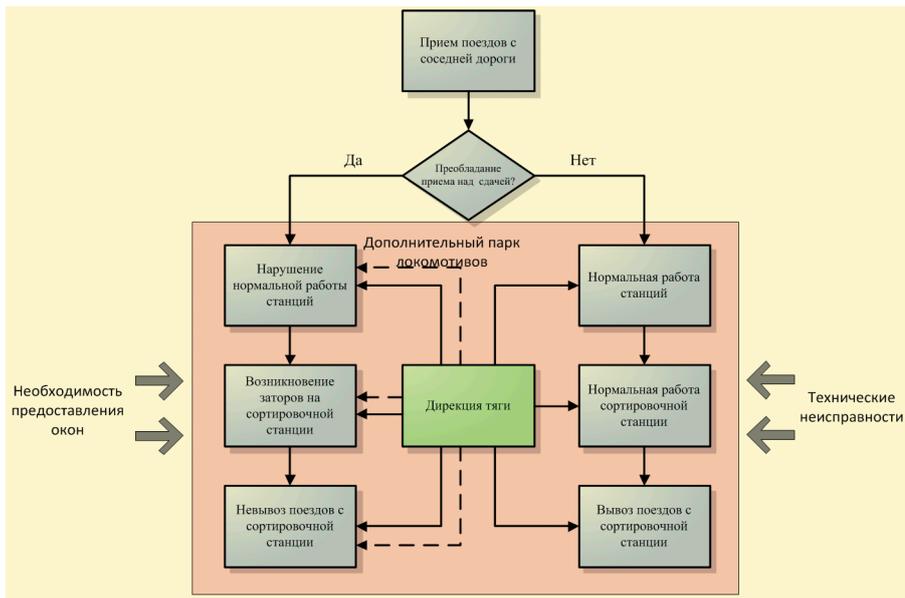


Рис. 6. Сценарий образования заторов на дороге

путь закрывается для ремонта. Создаются дополнительные предпосылки для невывоза поездов, которых за неделю накапливается около 15–20.

Пятый фактор – технические неисправности, из-за которых ухудшилась обстановка на ОЖД. За текущее содержание технических средств несут ответственность разные дирекции. Так, в данный период возникали неисправности электровозов (в ведении Дирекции по ремонту тягового подвижного состава)

на перегоне, вследствие чего вынужденно оказывалась помощь вспомогательным локомотивом. При этом путь закрывался для движения всех поездов, и весь поток пропускался по одному пути с отклонением от графика.

Срабатывание тормозов у грузового поезда на перегоне, остановка поезда по показаниям аппаратуры комплекса технических средств мониторинга (КТСМ), устройства контроля схода подвижного состава (УКПС), как пра-

вило, приводят к задержке поезда на 2–4 часа и затрудняют движение локомотивов. Ответственность за это несет Дирекция вагонного хозяйства. За работу устройств пути и рельсовых цепей ответственность лежит на дирекциях пути и автоматики и телемеханики.

**Сценарии дестабилизации перевозочного процесса**

Действие рассмотренных факторов имеет последовательно-параллельный характер и может быть отображено в виде схемы (рис. 6).

Для детального анализа сценария образования заторов требуется рассмотреть три варианта загруженности участка:

- пониженная;
- средняя;
- повышенная.

На рис. 7 представлена упрощенная схема подхода поездов к сортировочной станции. На ней изображены схематические планы станций, местоположение поездов, следующих на сортировочную станцию, пунктирными линиями показаны их планируемые маршруты и действия с ними.

При пониженной загруженности участка имеются резервы пропускной способности, и поезда следуют по нормативному графику движения поездов.

При средней загруженности сохраняется возможность регулирования движения поездов и большая часть из них следует по нормативному графику (рис. 8). Однако появляются поезда, у которых нет возможности вовремя доехать до сортировочной станции из-за отсутствия на ней свободных путей. Пока они не освободятся, поезда приходится останавливать на путях ближайших станций. В таком случае возможна ситуация, при которой у локомотивной бригады, управляющей этим поездом, закончится рабочая смена и потребуется заменить ее новой. Поезд с новой локомотивной бригадой будет отправлен, когда на сортировочной станции появятся свободные пути, на один из которых возможен прием данного поезда с учетом подхода других поездов. Происходит нерациональное использование локомотивной бригады, так как она за всю рабочую смену может проехать только один или два перегона.

В случае повышенной загруженности участка возникают переизбыток поездов, следующих к сортировочной

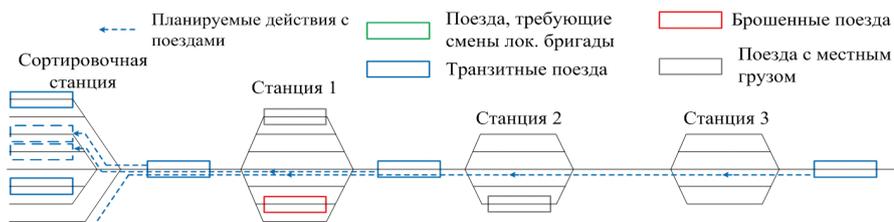


Рис. 7. Пониженная загруженность участка

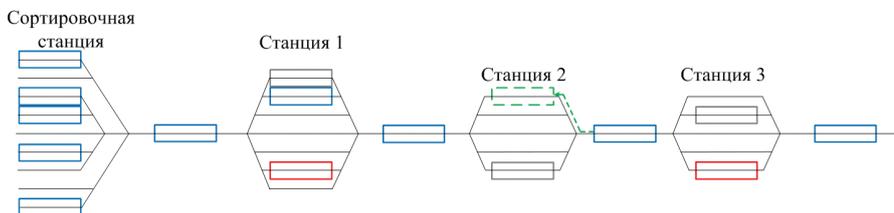


Рис. 8. Средняя загруженность участка

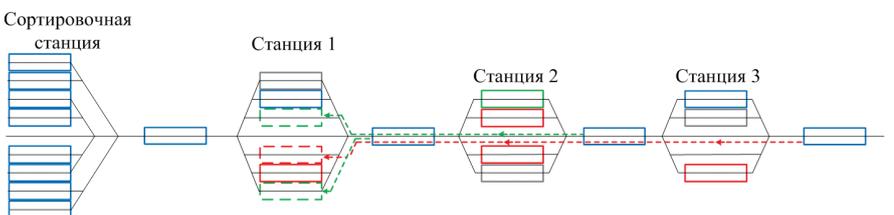


Рис. 9. Повышенная загруженность участка

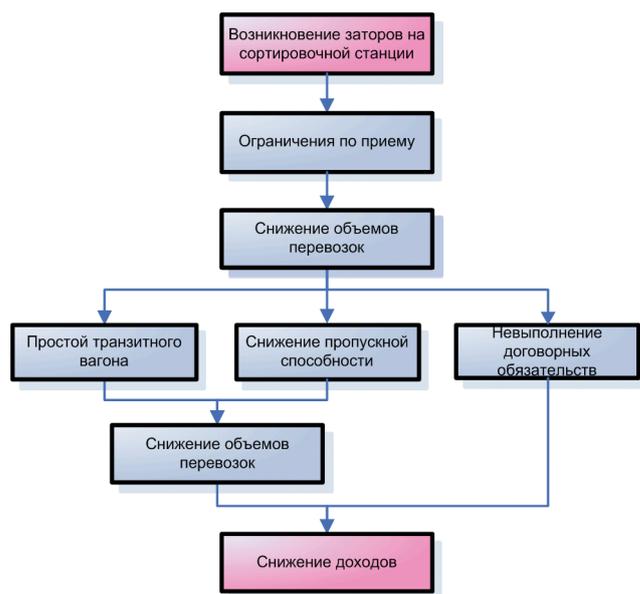


Рис. 10. Последствия возникновения заторов на сортировочной станции

станции, и занятость боковых путей на участковых станциях на подходе к ней, что не дает возможности приема поездов «сходу» на сортировочную. Обгон поездов при забитости правильного перегонного пути возможен только по неправильному, что приводит к задержкам локомотивов встречного потока (рис. 9).

При ухудшении поездной обстановки и трудностях в ее прогнозировании снижается точность планирования и способность оперативного персонала

стабилизировать перевозочный процесс. Проходит длительное время между началом «разладки» перевозочного процесса и принятием решения (как правило, на более высоком уровне) по применению необходимых мер. Ситуация усугубляется тем, что компания несет значительные убытки от дестабилизации перевозочного процесса (рис. 10).

Как же удалось выйти из этого нестандартного положения? Железная дорога в короткие сроки была доуком-

плектована электровозами и командированными локомотивными бригадами с соседних дорог. Содержание парка электровозов стало на уровне 325–340 локомотивов. Со станции Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский был организован постоянный вывоз поездов, повысилась готовность станции к приему. Бригады стали ездить с «оборота», что позволило использовать графиковые бригады для «подъема» брошенных поездов. Стали освобождаться пути на станциях для обгонов, лучшего использования пропускной способности участка. Для стабилизации перевозочного процесса понадобилось 2,5–3 недели содержания парка электровозов в соответствии с нормативом.

Возможно ли было остановить ухудшение показателей перевозочного процесса, не дожидаясь масштабных последствий? В данном случае можно говорить о недостаточно оперативном реагировании системы управления на возникшую ситуацию.

### Обнаружение устойчивых изменений в показателях перевозочного процесса

Одним из вариантов предупреждения неблагоприятного развития событий является достоверное определение момента, в который произошло устойчивое изменение (тренда) ключевых показателей перевозочного процесса. Для выявления изменений показателей используется метод обнаружения разладки случайных процессов [1].

На основе этого метода нами были построены линейные аппроксимации (тренды) меняющихся значений оборота вагона, участковой скорости, простоя транзитного вагона с переработкой и выполнения плана погрузки (рис. 11). Вертикальными пунктирными линиями показаны точки принятия решения. Красными линиями указаны точки принятия решения, учитывающие ухудшение каждого показателя в отдельности. Черной линией – точка  $\tau_2$  принятия решения, когда по факту началось исправление ситуации. Синей линией – предлагаемая точка  $\tau_1$  принятия решения, расположение которой принято исходя из учета момента разладки трех ключевых показателей перевозочного процесса. На графике указаны значения величин начала и окончания трендов, а также значения установленного плана показателей.

Таблица 1. Исходные данные для расчета убытков компании от недопогрузки

Дата	Факт (тыс. т)	План (тыс. т)	Прогноз (тыс. т)	Недопогрузка относительно (тыс. т)	
				Плана	Прогноза
11.10.2013	313,33	304	315,29	-9,33	1,96
12.10.2013	302,7	304	314,61	1,3	11,91
13.10.2013	259,15	304	310,36	44,85	51,21
14.10.2013	283,22	304	319,11	20,78	35,89
15.10.2013	292,06	304	323,56	11,94	31,5
16.10.2013	287,16	304	321,3	16,84	34,14
17.10.2013	309,45	304	315,61	-5,45	6,16
18.10.13 – 24.10.13	2042,06	2104	2196,01	61,94	153,95
25.10.13 – 31.10.13	2081,63	2086	2203,65	4,37	122,02
01.11.13 – 07.11.13	1976,31	2009	2199,03	32,69	222,72
08.11.13 – 14.11.13	1937,99	2009	2104,52	71,01	166,53
15.11.13 – 21.11.13	1793,29	2009	2113,01	215,71	346,37
22.11.13 – 30.11.13	2450,94	2583	2813,59	132,06	362,65
Итого за весь период:	14 329,29	14 928	15 849,65	598,71	1 520,36

Таблица 2. Стоимость перевозки грузов

Род груза	Упущенная выгода от непереvezенных грузов (руб.), относительно:	
	Плана	Прогноза
Строительные грузы	50 963 065,7	129 434 481,2
Железная руда	54 291 497,4	137 895 054,5
Нефтеналивные грузы	102 425 750,2	260 099 235,8
Удобрения	64 163 420,4	162 982 337,9
Уголь	43 715 424,4	110 989 305
Итого:	315 559 158,1	801 400 414,4

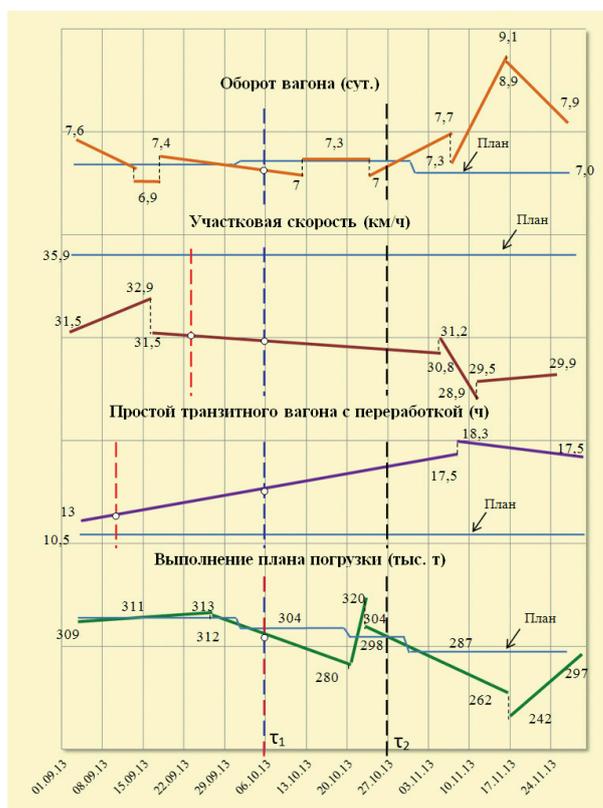


Рис. 11. Тренды изменения показателей перевозочного процесса,  $\tau_1$  – предлагаемая точка принятия решения;  $\tau_2$  – точка принятия решения по факту

**Расчет экономического эффекта**

Проведем расчет убытков компании от срыва плана погрузки. В качестве основы был взят прогнозный график выполнения плана погрузки (рис. 12). На нем представлены тренды фактических, плановых и прогнозных значений погрузки на сети ОЖД. Прогнозные значения определялись на основе метода обнаружения разладки в трендах и анализа тенденций изменения показателя погрузки за рассматриваемый период.

При расчетах были использованы ежедневные показатели погрузки за исследуемый период (табл. 1).

За рассмотренный период фактическая погрузка составила 14 329,29 тыс. т, запланированная – 14 928 тыс. т, а прогнозируемая погрузка при своевременном обнаружении ухудшения ситуации составила бы 15 849,65 тыс. т груза, возможное увеличение погрузки могло достичь 10 % (1520,36 тыс. т). С использованием Прейскуранта 10-01 рассчитаны упущенные доходы компании от недогрузки относительно плана (598,71 тыс. т) и прогнозных значений



Рис. 12. Прогнозный график выполнения плана погрузки

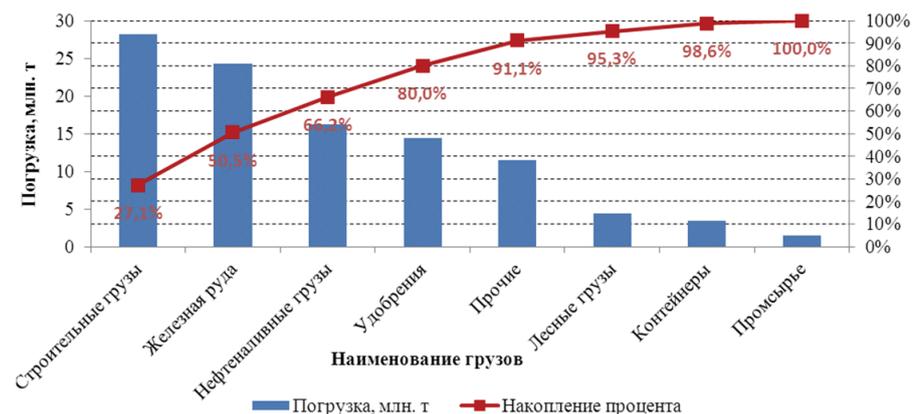


Рис. 13. Диаграмма Парето по погрузке Октябрьской железной дорогой за 2013 г.

погрузки (1 520,36 тыс. т).

Исходными данными для расчета являются род груза, дальность перевозки и принадлежность вагона.

По итогам января-декабря 2013 г. на территории обслуживания ОЖД погружено всего 103,6 млн т разных видов груза (рис. 13) [2].

Больше всего – 80 % от всей погрузки за 2013 г. – составили строительные, нефтеналивные грузы, железная руда и удобрения. 80 % упущенных доходов компании будут рассчитаны именно от их перевозки, оставшиеся 20 % будут отнесены к доле низкодоходных грузов (для примера взят уголь).

Средняя дальность перевозки за 2013 г. по сети дорог составила 1575 км [2]. В качестве примера рассмотрена перевозка в собственном вагоне строительных грузов (земля, песок, глина) с кодом ЕТСНГ 231000.

Массы недопогрузки относительно плана и прогноза объемов погрузки составили, соответственно, 162 и 412 тыс. т. Последовательность расчета стоимости перевозки в этих условиях следующая.

Тарифный класс груза – 1-й, минимальная весовая норма при перевозке в полувагонах равна грузоподъемности вагона [3]. Для примера возьмем вагон, грузоподъемность которого равна 69 т.

Соответственно, количество вагонов к перевозке составило 2 351 и 5 971 шт.

Провозная плата должна возместить затраты компании, включенные в плату за использование инфраструктуры и локомотивов «РЖД», по тарифной схеме № 8 [3]. Провозная плата за 1 вагон (масса груза равна грузоподъемности вагона (69 т), пояс дальности 1501–1600 км) равна 13 326 руб. [3].

Поправочный коэффициент K1 к инфраструктурной составляющей, применяемый при определении платы за перевозки грузов 1-го тарифного класса в зависимости от расстояния перевозки, равен 0,73 [3].

Поправочный коэффициент K3 для повагонных, групповых, маршрутных отправок грузов в универсальных, специализированных вагонах и цистернах в зависимости от количества вагонов в отправке и применяемой технологии равен 0,98 [3].

Дополнительный поправочный коэффициент для ряда грузов K2 = 0,77 [3].

Коэффициент K4, учитывающий индексацию тарифов с момента их утверждения в 2003 г. к 2013 г. равен 2,953 [4].

Сумма провозной платы для расчета недопогрузки рассчитывается по известным формулам относительно плана [5] —  $ПП = N_{гр} \cdot ПП8 \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 = 2\,351 \cdot 13\,326 \cdot 0,73 \cdot 0,98 \cdot 0,77 \cdot 2,953 = 50\,963\,065,7$  руб.;

$$\text{прогноза} - ПП = N_{гр} \cdot ПП8 \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 = 5\,971 \cdot 13\,326 \cdot 0,73 \cdot 0,98 \cdot 0,77 \cdot 2,953 = 129\,434\,481,2 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитана стоимость перевозки железной руды, нефтеналивных грузов, удобрений и угля (табл. 2).

Таким образом, трехнедельная задержка в принятии решения по стабилизации обстановки на дороге привела к снижению уровня погрузки и упущенной выгоде в размере 315 млн руб. от невыполнения плана погрузки и 801 млн руб. от недопогрузки относительно прогнозных значений.

Как показал анализ работы дороги за три месяца 2013 г. в сложных эксплуатационных условиях, динамические ряды показателей содержат линейные тренды с меняющимися параметрами. Для предотвращения развития отрицательных тенденций важно как можно скорее заметить неблагоприятные тренды и математически обосновать точку принятия решения. Это позволит оперативно спланировать комплекс организационных мер по стабилизации поездной обстановки и минимизации экономических потерь.

Дальнейшим развитием постановки задачи, изложенной в настоящей статье, является разработка программного обеспечения для обнаружения меняющихся трендов в последовательности случайных величин, описывающих динамику показателей перевозочного процесса.

**Литература**

1. Жиглявский А. А., Красковский А. Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1988. 221 с.
2. ОАО «РЖД» (данные о погрузке на Октябрьской железной дороге за 2013 г. Годовой отчет деятельности компании за 2013 г.) URL: <http://www.rzd.ru/>.
3. Постановление ФЭК РФ от 17 июня 2003 г. № 47-т/5 «Об утверждении Прейскуранта № 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (Тарифное руководство № 1, части 1 и 2)» (с изменениями и дополнениями).
4. Приказ ФСТ России от 27 ноября 2012 г. № 301-т/1.
5. Тарифы на перевозки грузов: метод. указ. для практич. и лаборатор. работ, СПб.: Полиграф ресурс, 2004. 80 с.