

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 656.212.5

С. В. ДОРОШКО, ст. преподаватель; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Приведена оценка эффективности использования сортировочных устройств при организации перевозочного процесса.

На этапе перехода экономик стран СНГ на рыночные отношения требуется радикальное изменение всех сфер деятельности общества и, в первую очередь, транспорта, который является "...главной, пожалуй, или одной из главнейших баз всей экономики". Для решения этой задачи важнейшее значение имеет повышение уровня научных исследований в области развития транспорта, выявление и использование глубинных резервов локальных и глобальных технологий, систем управления, планирования инвестиционной политики, научно-технического прогресса. В первую очередь это относится к совершенствованию сложившейся концепции распределения сортировочной работы между станциями, которая находит свое выражение в плане формирования поездов. Поскольку обращаемые на нашей сети железных дорог грузовые поезда в основном зарождаются и погашаются на станциях, чрезвычайно важно установить сложившиеся пропорции между темпами развития станций и ростом объемов перевозок.

Для анализа и понимания глубинных проблем эффективного распределения сортировочной работы между станциями рассмотрим два периода с 1960 по 1990 гг. и с 1990 г. по настоящее время. Такой анализ вызван известными причинами, главными из которых являются:

- на рубеже 90-х годов произошли геополитические изменения, которые привели к образованию СНГ и ряда независимых государств на территории бывшего СССР. Это обстоятельство положило начало коренному изменению транспортных связей между бывшими регионами страны;
- резкое снижение объемов перевозочной работы и необходимость поиска рыночных механизмов распределения сортировочной работы;
- необходимость выбора рациональных методов использования технического оснащения железнодорожных станций и узлов, безубыточности их работы;

– обеспечение устойчивой работы железнодорожного транспорта в конкуренции с другими видами транспорта.

Анализ процесса развития железных дорог с 1960 по 1990 гг. показал, что объем, интенсивность и динамичность работы постоянно увеличиваются. Это наглядно иллюстрирует рисунок 1.

Так, грузооборот железнодорожного транспорта вырос в 2,7 раза, а протяженность путей сообщения – только в 1,18 раза. В результате большая часть ежегодного прироста грузооборота осваивалась основной сетью. Средняя грузонапряженность за анализируемый период выросла в 2,2 раза. Темпы роста протяженности станционных путей также в значительной мере отставали от темпов роста объемов перевозок. В результате этого к 1990 году существенно возросла насыщенность станций вагонным парком. По сравнению с 1960 годом рабочий парк вагонов во всех видах простоев на станциях, отнесенный на 1 км станционных путей, возрос в среднем по сети в 1,8 раза, что обеспечивало высокую эффективность работы станций и железнодорожного транспорта, так как независимая составляющая себестоимости перевозок постоянно снижалась.

За анализируемый период достаточно быстрыми темпами происходили процессы механизации и автоматизации сортировочных горок (таблица 1) – основного элемента сортировочного конвейера. Несколько медленнее осуществлялась автоматизация горочных комплексов. Устройствами АРС было оборудовано 5 горок, в том числе две новые системы АРС введены на станциях Красный Лиман и Ясиноватая; устройствами АЗСР оборудованы 12 горок, а ГПЗУ – 16 горок.

Более 30 % сортировочных станций, выполняющих около 21 % всей сортировочной работы, оставались безгорочными.

Из общего числа 27 % сортировочных станций вели роспуск составов на немеханизированных

горках. Кроме того, многие сортировочные станции при наличии механизированных горок имели неразвитые горловины, в которых отсутствуют обходные пути. Поэтому для повышения эффективности работы сортировочных станций необходимо было резко увеличить темпы автоматизации и планировалось довести количество автоматизированных горок в 1995 году до 37, а в 2000 – до 65.

За период с 1960 по 1990 годы объем переработки вагонопотоков на станциях рос более высокими темпами, чем объем перевозок, что было вызвано, в основном, развитием городов, появлением новых сырьевых баз, специализацией и интеграцией производства, а также изменением структуры грузопотоков, недостаточным техническим оснащением станций. Только на 100 важнейших сортировочных станциях СССР ежегодный прирост вагонопотока составлял более 20 тыс. вагонов, а переработка возрастала на 6–6,5 тыс. вагонов в сутки. Из 134 горок этих 100 станций 32 % перерабатывала до 2,5 тыс. вагонов, 17 % – до 6 тыс. и 2 % более 6 тыс.

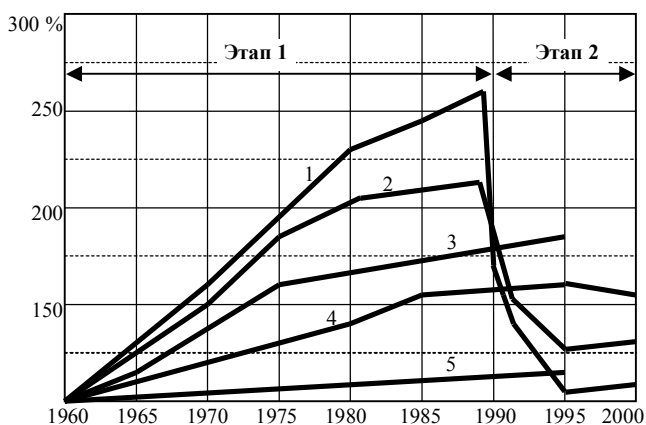


Рисунок 1 – Динамика изменения основных показателей железнодорожного транспорта (в процентах к 1960 г.):
1 – грузооборот; 2 – грузонапряженность; 3 – насыщенность станций вагонным парком; 4 – протяженность станционных путей; 5 – эксплуатационная длина сети

Таблица 1 – Динамика развития сортировочных горок

Показатель	1960	1970	1980	1990
Общее количество сортировочных станций	196	196	225	231
Из них:				
горочных	84	126	148	226
в том числе механизированных	42	66	105	147
автоматизированных	–	3	4	5

В значительной мере возможностям тяги не удовлетворяла и полезная длина сортировочных и приемо-отправочных путей на всех станциях сети железных дорог СССР. Из них только 40 % имели полезную длину более 800 м. Анализ работы железных дорог за период с 1960 по 1990 годы позволяет отметить, что большинство сортировоч-

ных станций было запроектировано по устаревшим нормативам. В частности, профиль горок на ряде станций не проверялся и не выправлялся с момента постройки, динамика основных параметров горок не соответствовала новым условиям их работы. Положенные в основу теории расчета сортировочных горок принципы жесткого детерминизма и суперпозиции приводили к существенным ошибкам. В результате завышались возможности горок по переработке вагонопотоков, наблюдалась тенденция к нарушению правил роспуска целого ряда вагонов, снижалась безопасность сортировочного процесса, сохранность подвижного состава. По данным [10], в результате отставания темпов развития сортировочных горок от объемов переработки, слабого информационного обеспечения технологических процессов и других причин на сортировочных горках повреждалось ежегодно около 800 тыс. вагонов. Для восстановления их работоспособности расходовалось свыше 300 млн рублей (в ценах 1990 года). Кроме того, уменьшалась перерабатывающая способность станций, росли затраты на выполнение дополнительных маневровых передвижений, требовались дополнительные капитальные вложения на развитие станций, приобретение локомотивов.

В последние пять лет анализируемого периода дополнительно начали проявляться отрицательные последствия новых экономических отношений, складывающихся на железных дорогах. Например, переход экономик стран СНГ на рыночные принципы привел к тому, что на первом этапе ряд министерств и ведомств систематически нарушали госзаказ, возникали внеплановые перевозки на основе прямых договоров между производителями и потребителями. В результате усилилась пространственная неравномерность потоков, и на одних направлениях железнодорожные станции оказались незагруженными, а на других – перегруженными, со всеми вытекающими из этого последствиями. В таких условиях перераспределение сортировочной работы на другие станции, в абсолютном большинстве имеющие неразвитые сортировочные устройства, увеличило задержки в продвижении вагонопотоков. Поэтому время нахождения вагонов на технических станциях за последние 15 лет возросло на 25 % и составляет 37 % от общего времени оборота вагона. Графическая иллюстрация динамики простоя вагонов на станциях железных дорог приведена на рисунках 2 и 3, анализ которых показывает чрезвычайно высокую неоднородность этой величины на железных дорогах.

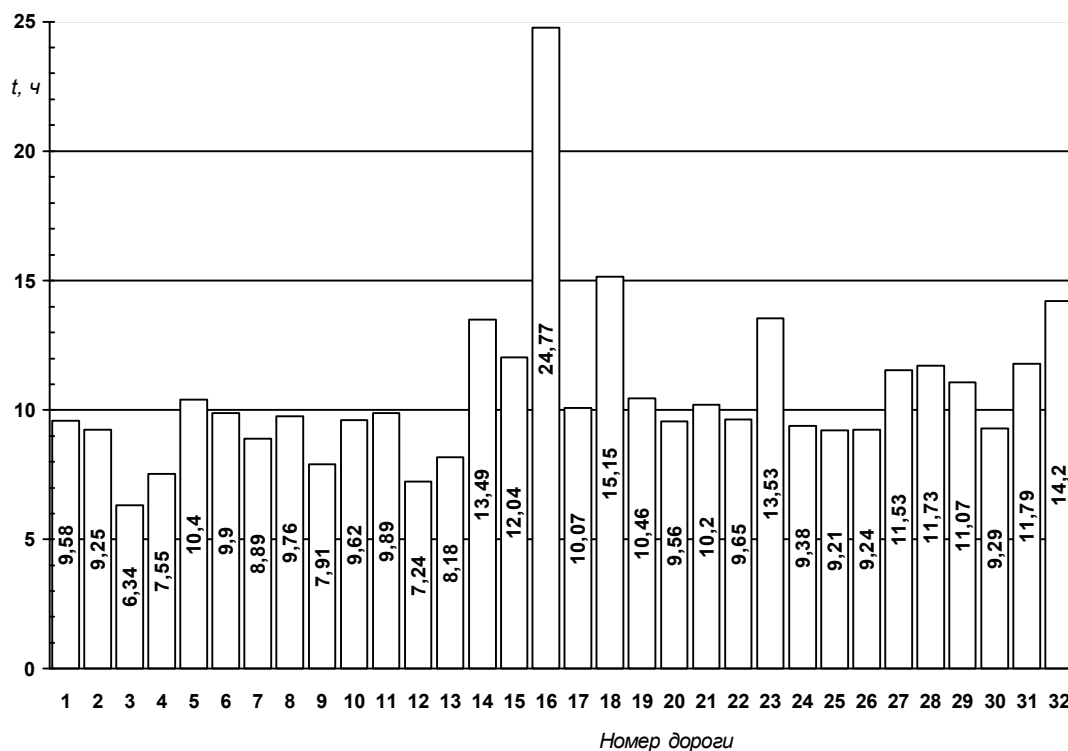


Рисунок 2 – Динамика простоя транзитного вагона с переработкой на сети железнодорожного транспорта (1990 г.)

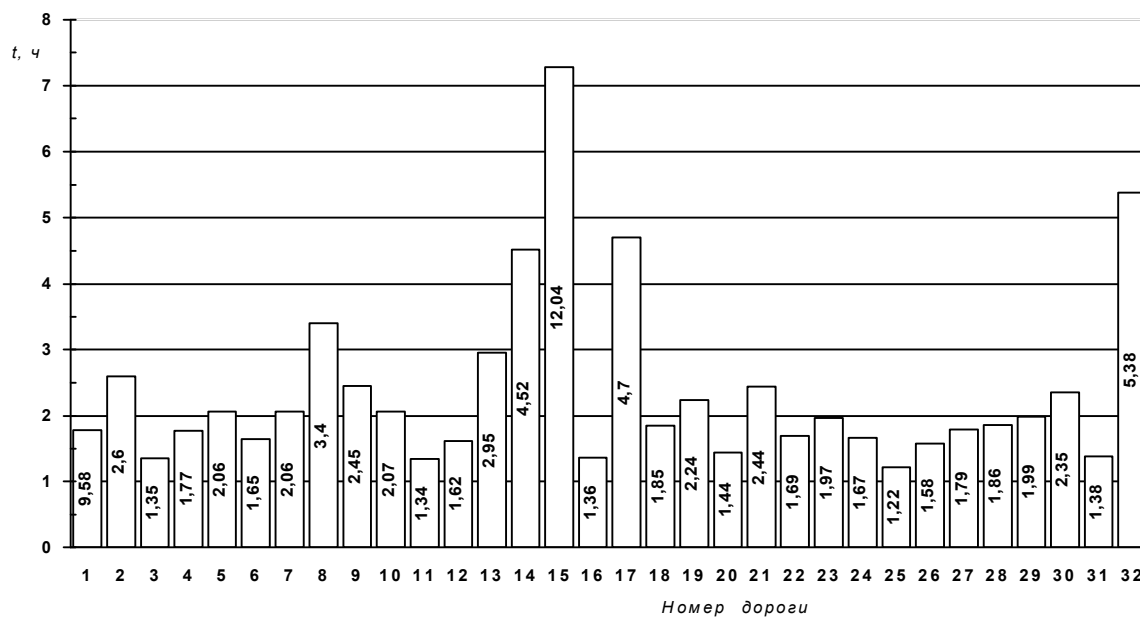


Рисунок 3 – Динамика простоя транзитного вагона без переработки на сети железнодорожного транспорта (1990 г.)

Например, размах колебаний продолжительности нахождения транзитного вагона с переработкой составляет 18,43 ч, а транзитного без переработки – 6,06 ч. Относительный размах колебаний указанных величин равен, соответственно, 185,9 и 301,5 %. Это свидетельствует о крайне неравномерном развитии сортировочных и участковых станций, а на отдельных полигонах сети – о больших различиях в технологии работы, несоответ-

ствии объема и характера сортировочной работы путевому развитию и техническому оснащению, от отставании темпов строительства и реконструкции станций, несовершенстве принципов, положенных в основу действующей системы организации вагонопотоков [2, 4]. Например, анализ выполнения оборота вагона по сети за последнее десятилетие показывает, что за полное его время вагон в среднем проходит около 4,5 сортировочных

станций, т. е. сортируется с учетом повторной сортировки 5-6 раз. Поэтому необходимы новые критерии и методические принципы при решении задачи распределения сортировочной работы [3, 7, 9]. Расчеты показывают, что увеличение транзитности вагонопотоков только на 1 % дает возможность получить экономию в размере около 20 млн руб. в год (в ценах 1990 г.).

Большое количество станций переработки вагона на его полном рейсе существенно снижает рейсовую скорость, а неопределенность транспортных процессов приводит к высокой нерегулярности обслуживания клиентуры, со всеми вытекающими из этой ситуации потерями (содержание дополнительных резервов мощности, создание сверхнормативных запасов продукции, порча грузов, остановка предприятий и др.). Велики при этом и потери железнодорожного транспорта, связанные с нерациональным распределением сортировочной работы и некомплексным развитием станций. Только из-за повторной сортировки вагонов сеть несет дополнительные потери в размере 28–32 млн руб. в год (в ценах 1990 года). Увеличивались также потери, вызванные снижением участковой скорости поездов на подходах к сортировочным станциям из-за неустойчивости их работы и необходимостью постановки под обгон разборочных поездов транзитными. Возрастали расходы, связанные с нарушениями плана формирования поездов: в 1988 г. они составили около 22 млн руб. (в ценах 1990 года), а в 1991 г. с учетом роста цен достигли 37 млн руб.

Продолжает нарастать разрыв между оптимальным количеством приемоотправочных и сортировочных путей (по существующим нормативам) и действительным их количеством на основных сортировочных станциях. По расчетам Киевгипротранса разрыв на начало 1990 год достигал 2000 путей, а экономические потери, вызванные отклонением действующей системы распределения сортировочной работы от оптимального плана формирования по ориентировочным оценкам составляли 200–300 млн руб. в год.

Основная составляющая экономии времени оборота вагона связана с сокращением на 20–25 % количества переработок, переходом к кооперированным формам взаимодействия сортировочных станций между собой и другими станциями сети, широким развитием формирования групповых поездов, переходом к адаптивному плану формирования поездов [3, 7, 8, 9]. Необходимость внедрения новых технологий диктуется потребностью сокращения простоя вагонов на сортировочных станциях, наибольшую часть которых составляет простой вагона под накоплением, определяемый по формуле

$$t_n = \frac{\sum C_j m_j}{N}, \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где C_j – параметр накопления j -го назначения; m_j – среднее количество вагонов в поезде j -го назначе-

ния; N – среднесуточное количество формируемых на станции вагонов; n – количество назначений, формируемых на станции.

Формулу (1) можно представить следующим образом:

$$t_n = \frac{\bar{C}m}{N_n}, \quad (2)$$

где \bar{m} – среднее число вагонов в формируемых поездах; N_n – средняя мощность назначения.

По формуле (2) построена зависимость $t_n = f(N_n, C)$, которая показана на рисунке 4. Из графика следует, что величина t_n быстро уменьшается в зоне от 0 до 150 вагонов в сутки, а затем при $N_n > 150$ ваг/сут. уменьшается очень медленно. Учитывая, что средняя мощность дальних назначений в 1960–1990 гг. уже превысила на основных станциях 150 ваг/сут. (таблица 3), то добиться снижения простоя транзитного вагона с переработкой в настоящее время очень трудно, если ориентироваться на традиционные технологии и конструктивные решения станций.

Анализ динамики роста мощности и количества назначений плана формирования поездов показывает, что с 1960 по 1990 годы продолжала оставаться высокой загрузка сортировочных путей: 180–240 вагонов на один путь. Так, что с учетом дополнительных путей для специальных вагонов, погашения неравномерности транспортных процессов и др. [1, 6, 9, 10] средняя оптимальная нагрузка на один сортировочный путь в этот период составляла 90–130 ваг/сут (таблица 4). Поэтому можно констатировать, что на многих технических станциях количество сортировочных путей было почти в два раза меньше оптимального, необходимого даже для реализации наилучшего по действующим инструкциям плана формирования поездов. Происходила чрезмерная деконцентрация сортировочной работы. Сортировка и подборка местных вагонов часто осуществляется на грузовых станциях узлов, которые, как правило, не имеют специализированных сортировочных устройств. Из-за нехватки сортировочных путей вагон часто следовал в переработку на ближайшие участковые или сортировочные станции, увеличивая при этом эксплуатационные расходы, простой подвижного состава.

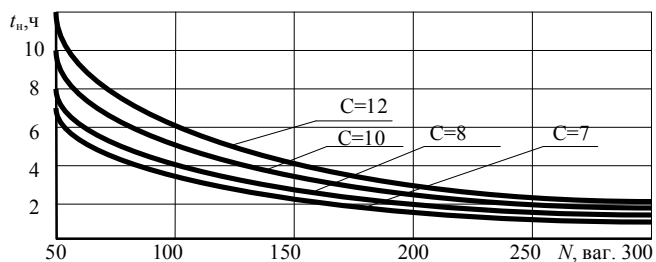


Рисунок 4 – Зависимость времени накопления состава поезда от параметра накопления, мощности назначения и числа вагонов в составе поезда

Однако на рубеже 1992 г. произошли коренные изменения в динамике грузовых перевозок и характере работы сортировочных станций. Объем перевозок грузов продолжал с 1996 г. резко падать (таблицы 2–4 и рисунки 1, 6 и 7). Например, объем работы Белорусской железной дороги в 1996 г. соста-

вил 39,9 % по отношению к 1991 г. В результате “обвального падения” уменьшились объемы работы и основных сортировочных станций. Данные таблицы 2 свидетельствуют о резком падении объемов работы и снижении загрузки сортировочных путей, повышении простоя вагона на станциях (рисунок 5).

Таблица 2 – Грузооборот железнодорожного транспорта общего пользования

В млрд т.км

Страна	Год				
	1992	1993	1994	1995	1996
Азербайджан	13,8	7,3	3,3	2,4	2,8
Армения	1,3	0,5	0,4	0,4	0,4
Беларусь	56,4	42,9	28,0	25,5	26,0
Грузия
Казахстан	286,1	192,3	146,8	124,5	112,8
Кыргызстан	1,6	0,9	0,6	0,4	0,5
Молдавия	7,9	5,0	3,5	3,1	2,9
Россия	1967	1608	1195	1214	1129
Таджикистан	2,7	3,0	2,2	2,1	1,7
Туркменистан	22,9	19,8	13,0	18,6	-
Узбекистан	51,7	38,8	18,9	16,9	-
Украина	3337,8	246,4	200,4	195,8	162,9

Таблица 3 – Динамика изменения объема переработки вагонов на горочных станциях Белорусской железной дороги

В ваг./сут

Станция	Год									
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Минск-Сорт.	4140	3788	3480	2605	2086	2081	2461	2304	2047	1979
Молодечно	1876	1620	1384	1287	1240	1236	1257	1179	1204	1208
Орша-Центр	3875	3478	2158	1584	1695	1736	2225	1804	1635	1444
Барановичи	3212	2700	2353	1667	1552	1638	1762	1749	1636	1551
Гродно	530	416	322	216	206	202	349	369	325	307
Лида	568	448	414	243	429	523	643	564	601	580
Лунинец	1235	1092	820	660	630	700	771	791	738	700
Брест-Восточ.	1569	1547	1370	760	659	626	719	686	608	635
Брест-Северн.	1558	1400	1200	1300	1076	900	959	1086	464	429
Гомель	4780	3788	2718	1752	1596	1829	2005	1846	1617	1687
Жлобин	1439	1135	751	567	552	745	568	870	501	516
Калинковичи	1311	1133	954	823	837	1009	1023	1015	989	984
Барбаров	1370	906	780	684	856	802	838	892	805	817
Могилев	2164	1831	1546	1345	1560	1280	1193	1168	980	856
Осиповичи	644	613	603	497	545	565	442	609	562	658
Витебск	2108	1938	1549	1116	927	958	1122	1075	1008	1002
Полоцк	1067	1120	1002	882	739	655	785	733	772	769
Новополоцк	2227	1605	1274	1225	1291	1348	1202	1109	1018	1139
В среднем по дороге	1982	1698	1371	1067	1026	1046	1129	1103	973	959

В частности, средняя мощность назначения по выборке из 25 станций сократилась более чем в 2,1

раза и обострила проблему распределения сортировочной работы (таблица 4).

Таблица 4 – Среднее количество вагонов, приходящееся на одно назначение

В ваг./сут

Номер станции	Год							
	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
1	71,8	146,3	164,5	152,6	161,3	164,9	168,6	61,2
2	135,8	144,1	151,6	171,6	172,3	168,9	181,0	68,3
3	138,2	140,0	175,6	215,6	210,4	217,2	221,3	84,2
4	68,2	72,3	78,3	75,2	78,4	76,6	79,3	27,9
5	150,8	249,2	202,0	201,0	198,2	199,3	202,1	79,6
6	121,3	152,1	140,3	162,6	180,1	182,4	192,3	81,2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	88,3	90,1	86,2	83,1	89,3	96,3	105,1	60,3
В среднем	92,4	106,8	125,3	143,8	151,4	163,6	168,3	78,2

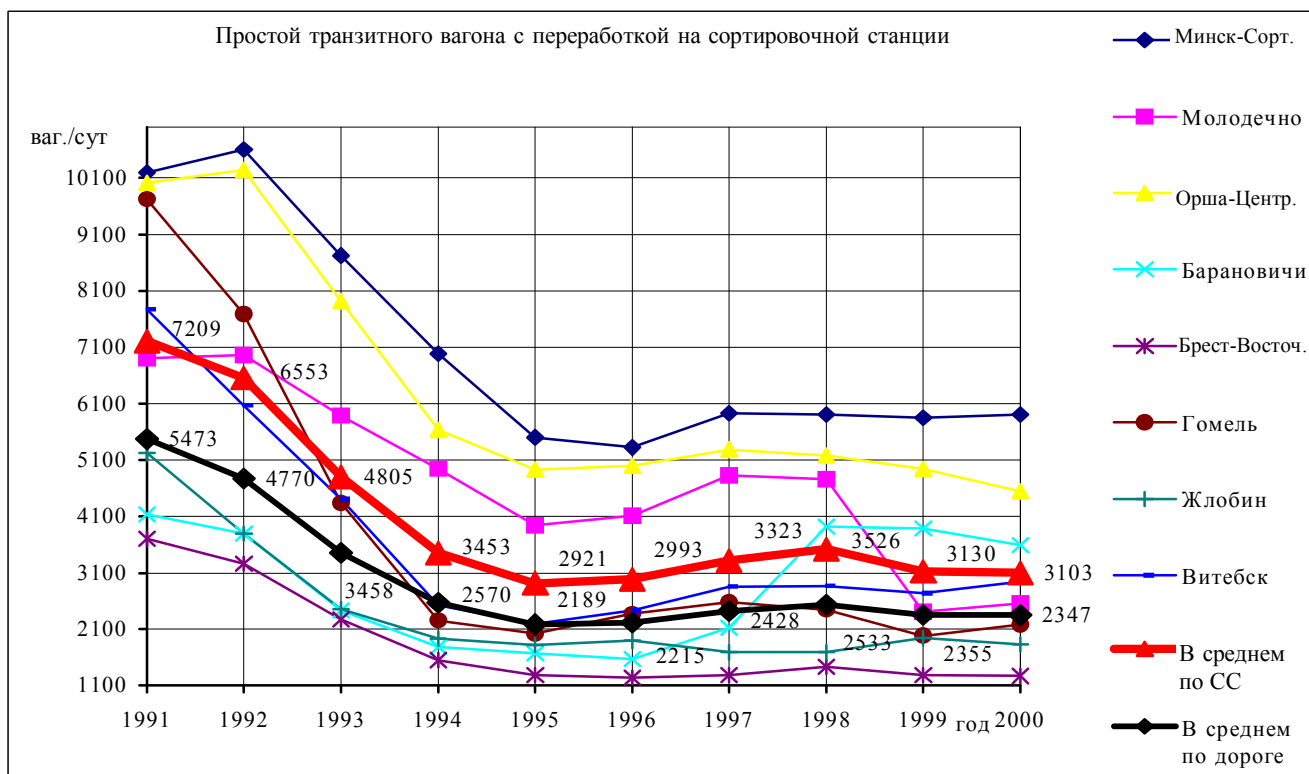


Рисунок 5 – Динамика изменения простоя транзитного вагона с переработкой на сортировочных станциях Белорусской железной дороги

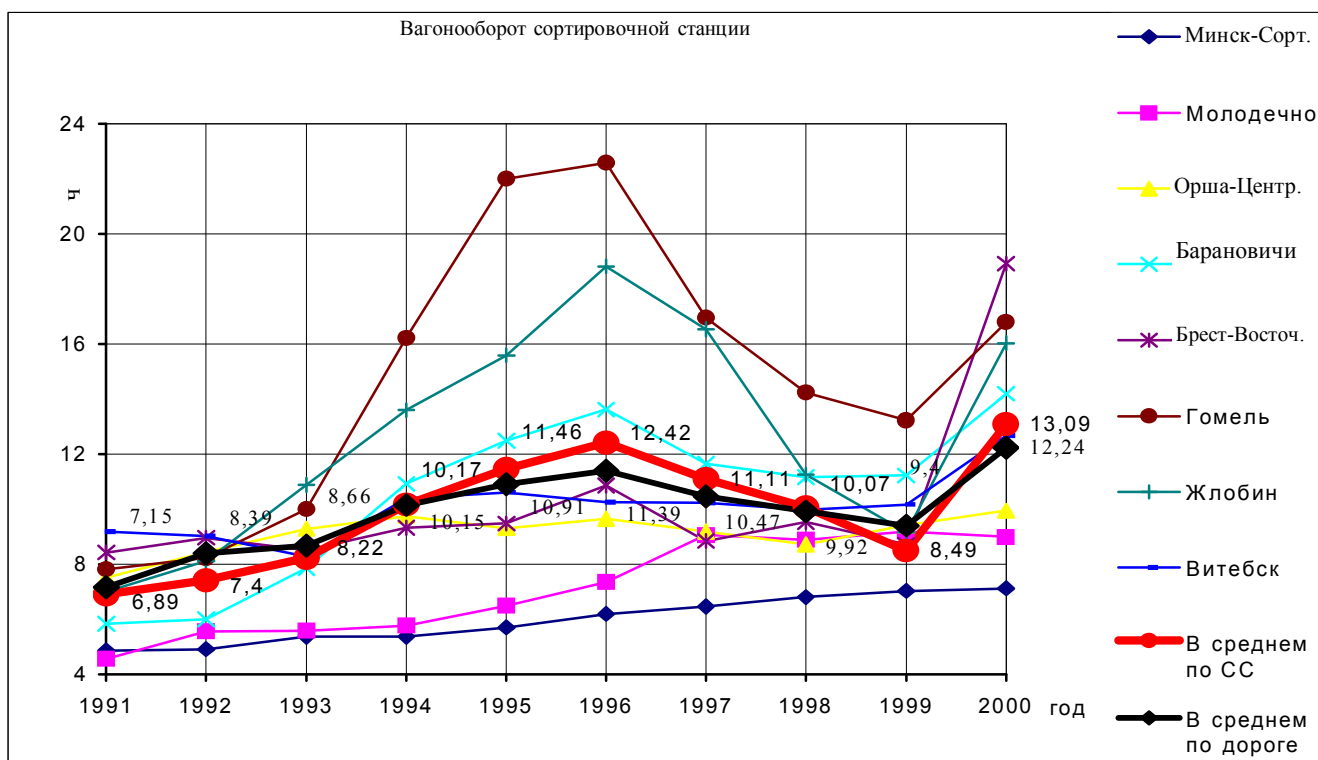


Рисунок 6 – Динамика изменения вагонооборота на сортировочных станциях Белорусской железной дороги

Именно в зоне мощности назначения от 0 до 150 вагонов наблюдается максимальное сокращение времени накопления (см. рисунок 4). Кроме того, средняя мощность одного назначения стала на 17–66 % меньше оптимального (таблица 5).

Острой остается проблема распределения сортировочной работы в крупнейших железнодорож-

ных узлах. По действующей методике расчета сетевого плана формирования поездов опорные пункты практически совпадают с крупными узлами, и распределение сортировочной работы производится без должной детализации. В результате узлы с двумя и более сортировочными станциями перерабатывают почти все транзитные вагонопотоки, которые следуют с линии туда и обратно,

вызывая дополнительную повторную сортировку вагонов от 12 до 36 %. Это приводит к материальным и трудовым затратам, перепробегу поездных

локомотивов, росту вагоно-часов на накопление, требует капитальных вложений на развитие постоянных устройств.

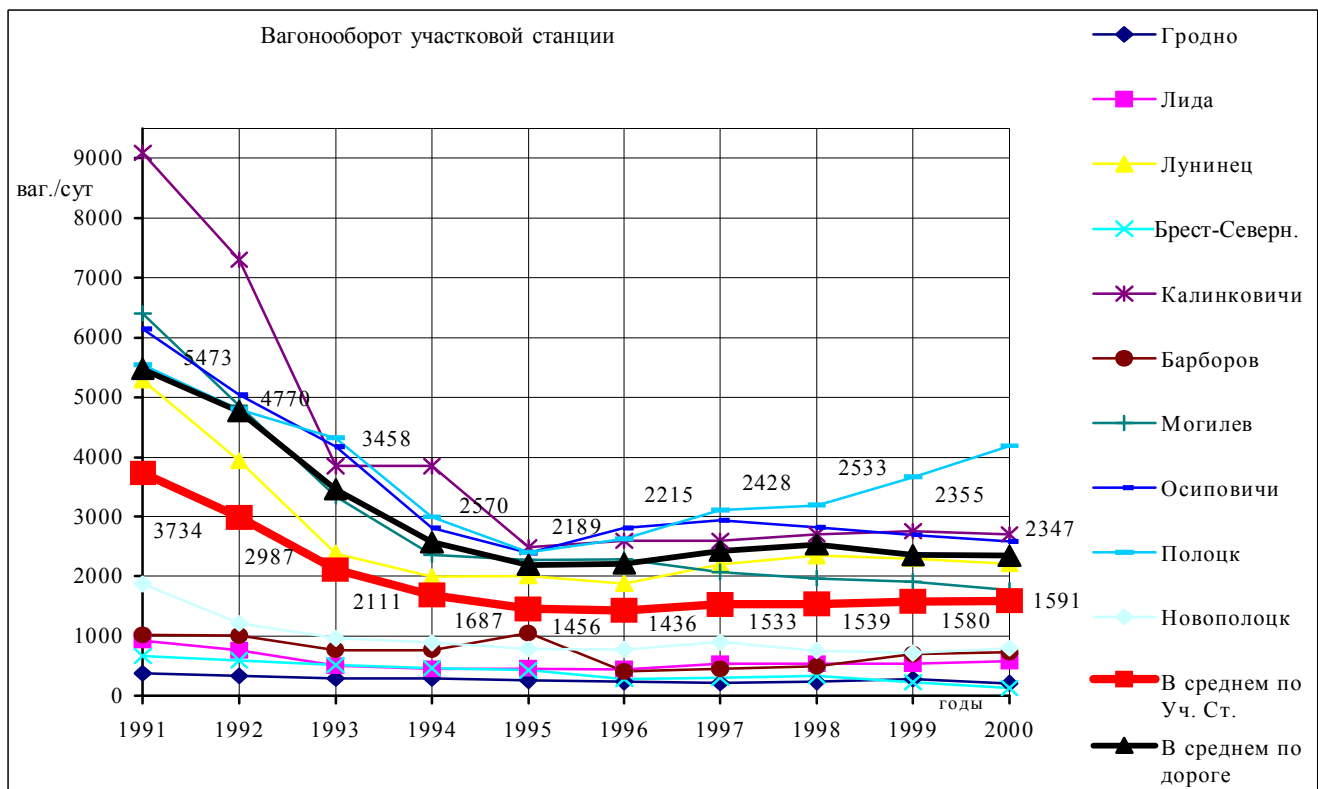


Рисунок 7 – Динамика изменения вагонооборота на участковых станциях Белорусской железной дороги

Таблица 5 – Зависимость мощности назначения от размеров движения

Размеры движения поездов в сутки	Количество назначений ПФП		Количество сортировочных путей				Количество вагонов, приходящихся на один путь сортировочного парка
	сквозные	сборные	для назначений плана формирования	отсевных, местных и др. вагонов	для погашения колебаний вагонопотоков	всего	
1	2	3	4	5	6	7	8
24	8	1	10	4	0	14	91
36	10	2	15	4	0	19	100
48	13	2-3	20	4	0	24	106
60	14	3	22-24	4	1	17-29	113
72	16	3	26-28	5	1	32-34	115
84	18	3	28-30	5	1	34-36	125
96	19	3-4	32-34	6	2	40-42	127
108	20	4	38-40	6	3	47-49	129
120	21	4	40-42	6	4	50-52	129
132	23	4-5	42-44	6	5	53-55	130

Из-за нерационального размещения сортировочных станций и распределения сортировочной работы на ста важнейших станциях около 30 % из них на рубеже 1990 года были загружены выше технически рационального уровня. Отдельные станции, наоборот, имеют значительный резерв перерабатывающей способности (Ленинград-Сортировочный, Красноярск, Пенза и др.).

Список литературы

1 Анализ эксплуатационной работы Белорусской железной дороги за 1991 – 2000 гг. – Мн.: Бел. ж. д., 2001. – 81 с.
 2 Ардашин, В. А. Распределение грузовых перевозок на полигонах железной сети /В. А. Ардашин// Тр. ИКТП при Госплане СССР.– 1981.– Вып. 88. – С. 52–63.

3 Дорошко, С. В. К вопросу оптимального распределения сортировочной работы между станциями полигона сети/ С. В. Дорошко// Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1992. – С. 93–97.
 4 Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. –М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
 5 Котельников, А. В. Железнодорожный транспорт России в 2000–2030 гг. /А. В. Котельников, А. С. Нестрахов // Вестник ВНИИЖТа. – 2000. – №5. – С.3–15.
 6 Методические указания по проектированию железнодорожных узлов и станций/ Киевгипротранс. № 114. – Киев, 1988. – 47 с.
 7 Негрей, В. Я. Распределение сортировочной работы в условиях колебаний вагонопотоков/ В. Я. Негрей, Н. П. Негрей, С. В. Дорошко// Совершенствование технологии работы железнодорожных станций и узлов: межвуз. сб. науч. тр.– Гомель: БелИИЖТ, 1989. – С.45–52.

8 Негрей, В. Я. Распределение работы между сортировочными станциями с учетом отцепов, запрещенных к спуску с горки/ В. Я. Негрей, Ф. Е. Сатырев// Проблемы развития железнодорожных станций и узлов: межвуз. сб. науч. ст.– Гомель: БелИИЖТ, 1985. – С. 67–74.

9 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков/ Н. В. Правдин, Н. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей.– М.: Транспорт, 1987. – 247 с.

10 Транспорт и связь СССР: статистический сборник.– М.: Финансы и статистика, 1990. – 299 с.

Получено 29.06.2005

S. V. Doroshko. Development dynamics of classification work and classification facilities use intensity. Effectiveness estimation of classification facilities use under transportation process organization is given.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2005. № 1(10)

УДК 656.13

Д. В. КАПСКИЙ, кандидат технических наук; В. Н. СЕДЮКЕВИЧ, кандидат технических наук; В. К. ЯРОШЕВИЧ, доктор технических наук; Белорусский национальный технический университет, г. Минск; С. Н. КАРАСЕВИЧ, ассистент; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Рассматривается проблема учета экологического фактора при определении эффективности автомобильных перевозок.

Бурный рост автомобильного транспорта в Республике Беларусь негативно влияет на окружающую среду: выбросы вредных веществ в атмосферу, загрязнение воды и почвы продуктами работы автомобилей, воздействие шума, вибрации и электромагнитных излучений. Однако основными причинами повышенного уровня экологических потерь являются: перегрузки на отдельных перекрестках; повышенный уровень маневрирования (перестроений, троганий и торможений) при интенсивных транспортных потоках; снижение скорости и движение на неэкономичных режимах при нагрузке, близкой к пиковой, и при местных ограничениях максимально допустимой скорости движения; перепробег транспорта; неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств и т.д. Необходимо отметить, что действие экологических потерь отложено во времени. Опасность заключается в том, что результаты могут оказаться непредсказуемо страшными.

Различается произведенный и потребленный вред. Например, когда нагруженная городская магистраль проложена через незаселенную или промышленную зону, потребленный вред значительно меньше, чем когда эта же магистраль проходит через густонаселенные жилые районы и вплотную примыкает к жилым зданиям, больницам, детским учреждениям и т. п.

Как видно, автомобильные транспортные средства (автомобили) являются основным подвижным источником экологического загрязнения. Чем выше объемы перевозок, тем больше объемы загряз-

нения окружающей среды. Объем выбросов вредных веществ определяется пробегом автомобилей. Он зависит от общей массы каждого транспортного средства, скорости, режима и условий движения, мощности и типа двигателя, его технического состояния. Объем выброса вредных веществ тесно связан с общим расходом топлива. Поэтому удельный выброс вредных веществ может быть определен по формуле

$$B_{уд} = p_v Q = p_v \frac{L(g_l + g_p q \gamma)}{W},$$

где $B_{уд}$ – удельный объем выброса вредных веществ (общий или одной из компонент) на единицу транспортной работы (пас-км или т-км); p_v – коэффициент, определяющий долю вредного выброса, приходящуюся на единицу сожженного топлива; Q – количество расходуемого топлива при выполнении перевозок; L – общий пробег автомобилей при выполнении перевозок; g_l – линейная норма расхода топлива на единицу пробега автомобиля; g_p – норма расхода топлива на единицу транспортной работы автомобиля; q – номинальная вместимость автомобиля; γ – коэффициент использования вместимости автомобиля; W – выполненная транспортная работа за общий пробег L автомобилей $W = q \gamma \beta L$; β – коэффициент использования пробега.

После упрощений получаем:

$$B_{уд} = p_v \frac{(g_l + g_p q \gamma)}{q \gamma \beta} = p_v \left(\frac{g_l}{q \gamma \beta} + \frac{g_p}{\beta} \right).$$