

УДК 656.222.3 : 656.212.5

А. А. АКСЁНЧИКОВ, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СТРУКТУРА И ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОДСИСТЕМ, УЧАСТВУЮЩИХ В ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА СТАНЦИЯХ ПЕРЕДАЧИ ВАГОНОВ

Станция передачи вагонов представляется как сеть подсистем (парков) массового обслуживания транспортного потока (поездов) и их тесное взаимодействие друг с другом в эксплуатационной работе. Приведены примеры на конкретных железнодорожных станциях по структуре и взаимодействию подсистем, участвующих в обслуживании вагонопотоков.

Показано влияние технологических каналов на время обслуживания поездов в подсистемах станции передачи вагонов. Предложены мероприятия по ускорению обслуживания транспортного потока в подсистемах станции передачи вагонов.

В транспортных сетях постоянно передвигаются различные потоки (поезда, локомотивы, вагоны), которые изменяют состояние технологических систем и подсистем (железнодорожных участков, станций, парков). При увеличении потока в какой-то промежуток времени может наступить задержка в работе одних систем (подсистем), которые вызывают соответствующие изменения в других системах (подсистемах).

Для каждой системы (подсистемы) формируется величина задержки поступающего потока (t_3), которая в случае надежной работы равна нулю, а в случаях полного заполнения путей парка имеет конкретное численное значение. Среднее значение задержки поступающего потока (поездов)

$$\bar{t}_3 = \frac{\sum N_3 t_3}{\sum N_3}, \quad (1)$$

где $\sum N_3$ – число задержанных поездов; $\sum N_3 t_3$ – сумма поездочасов простоя в ожидании приема задержанных поездов за анализируемый период.

Отдельные парки, как и железнодорожные станции в целом, тесно взаимодействуют в эксплуатационной работе с прилегающими железнодорожными участками и друг с другом.

По прибытию поезда на СПВ с ним выполняются последовательно (параллельно-последовательно) операции по прибытию (парк приема), расформированию (сортировочная горка), окончании формирования накопленных составов поездов (сортировочный парк, вытяжные пути) и операции по отправлению (парк отправления). Соответственно функционирование СПВ и прилегающих железнодорожных участков можно представить в виде сети, состоящей из шести последовательных систем массового обслуживания:

- по обработке состава поезда по прибытию;
- расформированию состава;
- накоплению на путях сортировочного парка;
- окончанию формирования состава;
- обработке состава поезда по отправлению;
- отправлению (парк отправления – прилегающие железнодорожные участки, на которые отправляются поезда).

Некоторые из перечисленных операций могут выполняться параллельно [работа в парке прибытия (отправления) технологического канала, состоящего из двух и более бригад, каждая из которых обрабатывает соответственно только четные или нечетные поезда;

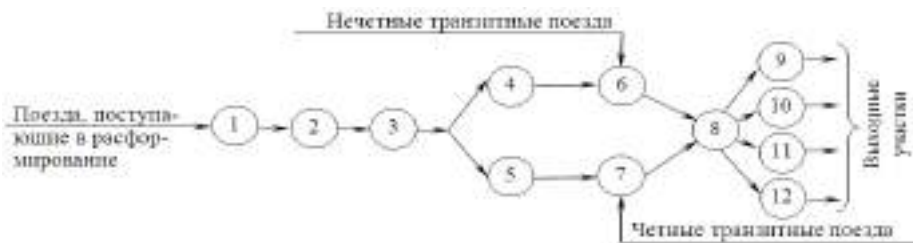
работа на вытяжных путях двух и более маневровых локомотивов, каждый из которых формирует составы поездов на определенной группе сортировочных путей]. На СПВ обрабатываются также и транзитные поезда. В случае их обработки совместно с составами своего формирования одними и теми же технологическими каналами (бригады ПТО, ПКО, работники СТЦ, сотрудники органов пограничной службы и должностные лица таможи) остается одна система обработки по прибытию (отправлению). Если на СПВ имеется специализированный парк для транзитных поездов, обрабатываемых отдельными технологическими каналами, то появляется дополнительная система обслуживания. Таким образом, кроме ряда последовательных систем массового обслуживания, сеть систем в зависимости от схемы СПВ и принятой технологии ее работы может включать и ряд параллельных систем обслуживания. Конфигурация сети и состав ее систем должны рассматриваться применительно к конкретным схемам СПВ с учетом особенностей их работы.

Для железнодорожных станций сеть подсистем обслуживания может состоять из совокупности последовательно и параллельно действующих подсистем обслуживания.

На основании изученной инфраструктуры 47 железнодорожных станций Белорусской железной дороги разработана типовая схема сети подсистем обслуживания, имитирующая работу железнодорожной станции, которая может состоять из 12 (или меньше) последовательно и параллельно действующих подсистем (рисунок 1).

Все поезда (четные и нечетные), поступающие в расформирование, образуют единый входящий поток, поступающий на обслуживание в подсистему 1 (парк приема). В парке приема параллельно ведется обработка составов технологическими каналами ПТО, ПКО, СТЦ и обработка документов в СТЦ. Выходящий из подсистемы 1 поток составов является входящим потоком для подсистемы 2 (сортировочная горка). В подсистеме 2 расформируются составы.

Совокупность моментов окончания расформирования на сортировочной горке составов с замыкающими группами или моментов завершения накопления определяет собой входящий поток для подсистемы 3 формирования (пути сортировочного парка).



Условные обозначения:

- 1 – парк приема; 2 – сортировочная горка; 3 – пути сортировочного парка; 4, 5 – вытяжные пути; 6, 7 – приемо-отправочные парки; 8 – подсистема обеспечения локомотивами; 9–12 – прилегающие железнодорожные участки

Рисунок 1 – Типовая схема сети подсистем массового обслуживания СПВ

При специализации районов работы маневровых локомотивов и прикреплении группы сортировочных путей к определенному вытяжному пути образуется несколько (по числу работающих локомотивов) одноканальных систем массового обслуживания. Так, при работе на двух специализированных вытяжных путях стрелочной горловины сортировочного парка двух локомотивов следует рассматривать две одноканальные системы (4 и 5). Входящий поток для каждой системы в отдельности определяется совокупностью моментов завершения накопления составов на группе путей, прикрепленных к данному вытяжному пути (локомотиву). Вместе с тем подсистема не будет многоканальной в связи с ограничением одновременного доступа двух маневровых локомотивов на один и тот же пучок путей сортировочного парка, выходящих на один вытяжной путь.

Выходящие из подсистем 4 и 5 потоки сформированных составов соединяются в приемо-отправочных парках с потоком транзитных поездов. Этот общий поток составов поездов (транзитных и своего формирования) поступает в подсистемы 6 и 7 (обработка в приемо-отправочных парках составов технологическими каналами ПТО, ПКО, СТЦ и пограничной службой). По окончании обработки составов поездов технологическими каналами выходящие из подсистем 6 и 7 потоки составов поступают в подсистему 8 «обеспечения локомотивами». После прицепки поездных локомотивов составы поездов поступают в соответствующие подсистемы отправления 9–12 (отправление поездов на железнодорожные участки).

На основании типовой сети подсистем массового обслуживания (см. рисунок 1) построены схемы сети подсистем обслуживания, имитирующие работу односторонней СПВ Молодечно и двусторонней СПВ Гомель (рисунки 2 и 3).

Из приведенных рисунков 1–3 видно, что прилегающие железнодорожные участки и СПВ представляют собой совокупность взаимозависимых подсистем массового обслуживания, в которой выходящий поток из данной подсистемы является входящим потоком для последующей подсистемы. Например, выходящий поток составов поездов после обработки технологическими каналами в парке приема является входящим потоком для системы расформирования. Если технические параметры или технология работы какой-либо подсистемы меняются, то это оказывает влияние и на работу других подсистем. Так, если вместо одnogруппового обслуживания составов поездов, поступающих в расформирование, ввести двухгрупповую и ускорить их обработку, то это скажется на выходящем из подсистемы обработки

потоке поездов, являющемся входящим для подсистемы расформирования, условия работы которой тоже изменятся. Следует учитывать также технологическую связь между отдельными подсистемами СПВ. Например, увеличение мощности сортировочной горки на СПВ может повлечь перераспределения работы между сортировочной горкой и вытяжными путями формирования и повлиять на потребное число маневровых локомотивов. Различным будет при этом в разных вариантах потребное число путей в парках и т.д.

Таким образом, при выборе оптимальных параметров технического оснащения и технологии работы необходимо рассматривать всю СПВ в целом, т.е. должен соблюдаться системный подход к решению задачи.

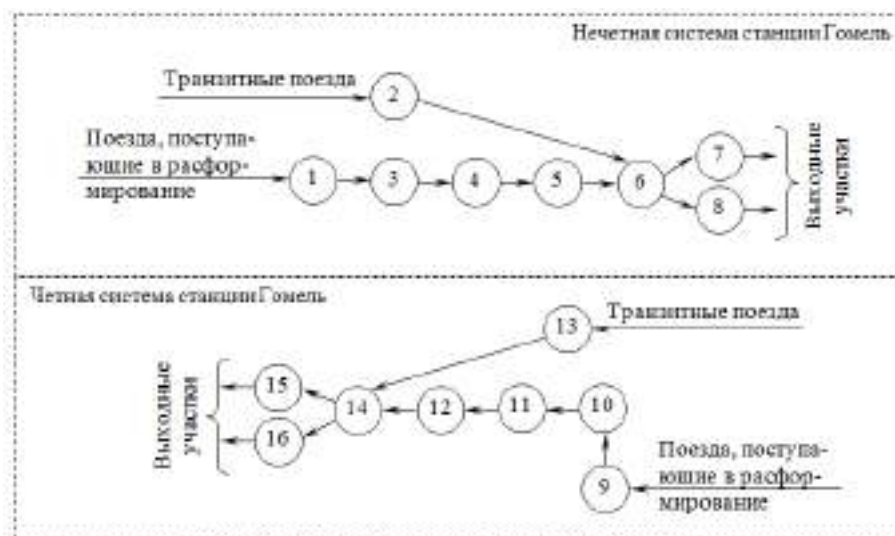
При заданной же мощности обслуживающих устройств и принятой технологии работы выходящие потоки будут вполне определенными, что позволяет рассматривать работу каждой подсистемы изолированно от работы других подсистем. Применительно к СПВ это возможно лишь при достаточном уровне развития отдельных парков, исключающем взаимную блокировку подсистем. Так, например, число путей в парках отправления должно обеспечивать беспрепятственную перестановку сформированных составов из сортировочного парка. В свою очередь число путей в сортировочном парке должно быть таким, чтобы исключалось их переполнение, вызывающее перерывы в роспуске составов на сортировочной горке [1].

В работе СПВ существуют постоянные технологические и информационные взаимосвязи между объектами: входными и выходными железнодорожными участками, парками, сортировочными устройствами, технологическими каналами (бригады ПТО, ПКО, работники СТЦ, сотрудники органов пограничной службы и должностные лица таможи). Технологические процессы этих объектов не всегда согласованы, что приводит к задержкам обработки вагонов и составов. Например, производительность технологических каналов (бригады ПТО, ПКО, работники СТЦ, сотрудники органов пограничной службы и должностные лица таможи) может не соответствовать интенсивности поступления поездов в переработку, вследствие чего возникает межоперационный простой в ожидании обработки по прибытии. Состав может быть подготовлен к роспуску и простаивать в его ожидании, если сортировочная горка не освободилась от расформирования ранее прибывших и подготовленных к расформированию поездов. Подобные межоперационные простои возможны практически перед выполнением любой технологической операцией.



Условные обозначения:
 1 – приемо-отправочные пути парка А; 2 – приемо-отправочный парк Б; 3 – сортировочная горка; 4 – пути сортировочно-отправочного парка; 5 – вытяжной путь; 6 – подсистема обеспечения локомотивами; 7–10 – прилегающие железнодорожные участки

Рисунок 2 – Схема сети подсистем СПВ Молодечно



Условные обозначения:
 - нечетная система железнодорожной станции Гомель: 1 – приемо-отправочный парк А; 2 – приемо-отправочный парк Б; 3 – сортировочная горка; 4 – пути сортировочно-отправочного парка С; 5 – вытяжной путь; 6 – подсистема обеспечения локомотивами; 7, 8 – прилегающие железнодорожные участки;
 - четная система железнодорожной станции Гомель: 9 – Бахмачский приемо-отправочный парк; 10 – сортировочная горка; 11 – пути сортировочно-отправочного парка С; 12 – вытяжной путь; 13 – Западный парк; 14 – подсистема обеспечения локомотивами; 15, 16 – прилегающие железнодорожные участки

Рисунок 3 – Схема сети подсистем двухсторонней СПВ Гомель

С технологической точки зрения необходимо стремиться к уменьшению или ликвидации межоперационных простоев, однако экономически это не всегда оправдано, поскольку требует значительных затрат на увеличение пропускной (перерабатывающей) способности объектов СПВ. Поэтому за оптимальную величину простоя вагонов должна быть принята величина, соответствующая оптимальному варианту технологии и технического оснащения СПВ, т. е. $t_{\text{опт}} = \{ t_i \}$, при котором комплексный критерий эффективности, принятый для сравнения вариантов, имеет минимальную величину.

В оперативных условиях задачей управления станционными процессами является ускорение выполнения операций, сокращение межоперационных простоев и общего простоя вагонов в целом. Однако сокращение простоя вагонов на СПВ не должно приводить к ухудшению показателей работы других систем транспорта. Например, сокращение времени

нахождения вагонов на СПВ не должно приводить к снижению участковой скорости на прилегающих к СПВ железнодорожных участках. Принципы системного, комплексного подхода к работе транспортных систем являются главными. В конечном итоге улучшение работы СПВ, сокращение простоя вагонов должно способствовать улучшению экономических показателей железнодорожного транспорта.

В пятидесятых годах XX века в трудах профессоров И. Г. Тихомирова и А. И. Платонова были сформулированы требования к пропускной (перерабатывающей) способности сортировочных станций, исходя из обеспечения переработки поездопотока по периодам суток. Эти требования получили название «условий взаимодействия» основных парков железнодорожной станции между собой и с прилегающими железнодорожными участками. В последующие годы взаимодействие станционных процессов стали изучать на основе современных математических методов

(теории массового обслуживания) с обоснованием оптимальных вариантов технологии и пропускной (перерабатывающей) способности сортировочных железнодорожных станций. Для этого эффективно используются алгоритмы и программы моделирования станционных процессов на ЭВМ [2].

Система массового обслуживания включает в себя следующие четыре элемента:

1 *Входящий поток требований*, поступающих в систему для обслуживания. Примером такого потока требований является поток поездов, прибывающих в те или иные парки железнодорожной станции. Входящий поток определяется совокупностью моментов поступления требований в систему и наиболее полно характеризуется законом распределения интервалов между этими моментами. Для практических расчетов достаточно знать следующие его числовые характеристики:

– среднюю интенсивность входящего потока

$$\lambda = 1 / I_{\text{ср}}^{\text{вх}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{ср}}^{\text{вх}}$ – среднее значение интервалов между моментами поступления требований в систему;

– коэффициент вариации интервалов между моментами поступления требований в систему

$$\nu_{\text{вх}} = \sigma[I^{\text{вх}}] / I_{\text{ср}}^{\text{вх}}, \quad (3)$$

где $\sigma[I]$ – среднее квадратичное отклонение интервалов от их среднего значения.

2 *Очередь*, образующаяся в связи с ожиданием требований начала обслуживания. Примером такой очереди могут быть составы поездов, ожидающие выполнения с ними технологических операций.

3 *Обслуживающее устройство*. Примерами этих устройств могут являться технологические каналы, сортировочная горка, вытяжные пути формирования, железнодорожные участки, на которые отправляются поезда.

Обслуживающее устройство характеризуется:

– средней интенсивностью обслуживания

$$\mu = S / \bar{t}_{\text{обсл}}, \quad (4)$$

где $\bar{t}_{\text{обсл}}$ – средняя длительность обслуживания; S – число каналов обслуживания.

– коэффициент вариации длительности обслуживания

$$\nu_{\text{обсл}} = \sigma[t_{\text{обсл}}] / \bar{t}_{\text{обсл}}, \quad (5)$$

где $\sigma[t_{\text{обсл}}]$ – среднее квадратическое отклонение длительности обслуживания.

4 *Выходящий поток требований* (например, поезда, отправляемые с железнодорожной станции на железнодорожный участок), характеризуемый:

– средней интенсивностью выходящего потока

$$\lambda = 1 / I_{\text{ср}}^{\text{вых}}, \quad (6)$$

где $I_{\text{ср}}^{\text{вых}}$ – средний интервал между моментами, когда требования покидают систему (между моментами завершения обслуживания);

– коэффициентом вариации интервалов между моментами, когда требования покидают систему,

$$\nu_{\text{вых}} = \sigma[I^{\text{вых}}] / I_{\text{ср}}^{\text{вых}}. \quad (7)$$

Коэффициент вариации случайной величины характеризует относительное ее отклонение от среднего значения. Коэффициент вариации $\nu_{\text{вх}} = 0$, когда все интервалы между моментами поступления требований в систему являются одинаковыми. В этом случае входящий поток требований является регулярным, а его распределение называется вырожденным. С увеличением $\nu_{\text{вх}}$ увеличивается неравномерность поступления требований в систему. При $\nu_{\text{вх}} = 1$ интервалы распределения характеризуются по показательному (экспоненциальному) закону, а входящий поток называется пуассоновским. С увеличением неравномерности поступления требований в систему (если $\nu_{\text{вх}} > 1$) интервалы распределения характеризуются по гиперэкспоненциальному закону.

Система «прилегающие железнодорожные участки – парк приема». *Входящий поток требований.* При схеме железнодорожной станции, когда все поезда (четного и нечетного направлений) принимаются и обрабатываются в одном парке приема, входящим потоком является совокупность моментов прибытия всех поездов (четных и нечетных) в расформирования.

Интенсивность входящего потока

$$\lambda = N_p / 24, \quad (8)$$

где N_p – число поездов, прибывающих за сутки в расформирование со всех направлений.

Неравномерность прибытия поездов в парк приема в расформирование вызывается неравномерностью зарождения этих поездов в пунктах формирования и условиях их продвижения к железнодорожной станции расформирования, прокладкой поездов для перевозки пассажиров на графике движения поездов, наличием в обращении на железнодорожных участках и расположением транзитных поездов, следующих через данную железнодорожную станцию без переработки, с которых поезда принимаются в данный парк для расформирования, качеством регулировки движения поездов диспетчерским аппаратом и рядом других факторов. Для определения коэффициента вариации интервалов между моментами прибытия поездов в парк приема $\nu_{\text{вх}}$ необходимо произвести анализ интервалов между моментами последовательного прибытия всех поездов (четных и нечетных). Обычно этот коэффициент вариации ($\nu_{\text{вх}}$) принимает значение от 0 до 1.

Для расчетов выбора способа организации работы парка приема и сортировочной горки $\nu_{\text{вх}} = 0,7 \dots 0,8$.

Обслуживающее устройство. Интенсивность обслуживания (при работе технологических каналов, состоящих из одной бригады)

$$\mu = 1/t_{\text{обсл}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{обсл}}$ – средняя длительность обслуживания одного состава технологическим каналом.

Коэффициент вариации длительности обслуживания состава поезда определяется по данным хрономет-

ражных наблюдений за работой технологического канала (каждая из ее групп) в парке приема.

Загрузка системы. При работе в парке одной бригады технологического канала (ПТО, ПКО, СТЦ, пограничной службы и таможи), состоящей из x групп, загрузка бригад $\psi_{бр} = \lambda/\mu = N_p \tau m(24x)$, а при работе двух бригад технологического канала, каждая из которых состоит из x групп, $\psi_{бр} = \lambda/\mu = N_p \tau m(48x)$.

Пример расчета показателей работы системы. В парке приема со всех направлений прибывает в расформирование $N_p = 60$ поездов. Техническое обслуживание выполняет одна бригада из двух групп с головы и хвоста поезда. Средняя длительность технического обслуживания одного состава $t_{обсл} = 0,36$ ч. Коэффициенты вариации $v_{вх} = 0,8$, $v_{обсл} = 0,2$. Определить среднее для всех составов время ожидания технического обслуживания.

Загрузка бригады будет составлять

$$\psi_{бр} = N_p t_{обсл} / 24 = 60 \cdot 0,36 / 24 = 0,9.$$

При загрузке системы $0,82 \leq \psi < 1$ среднее число составов, ожидающих начала технического обслуживания,

$$M[n_{оч}] = \frac{(7\psi - 1)(3\psi - 1)}{32\psi(1 - \psi)} [\psi(1 + v_{обсл}^2) + v_{вх}^2 - 1], \quad (10)$$

$$M[n_{обсл}^{оч}] = \frac{(7 \cdot 0,9 - 1)(3 \cdot 0,9 - 1)}{32 \cdot 0,9(1 - 0,9)} [0,9 \cdot (1 + 0,2^2) + 0,8^2 - 1] = 1,78,$$

а среднее время ожидания

$$t_{обсл}^{ож} = 24 M[n_{обсл}^{оч}] / N_p, \quad (11)$$

т. е. $t_{обсл}^{ож} = 24 \cdot 1,78 / 60 = 0,71$.

В процессе изучения и исследования технологии обработки поездов на СПВ Орша-Центральная, Молодечно, Брест-Восточный, Гомель, Витебск, Лида, Лунинец, Калинковичи, Полоцк, Брест-Северный было установлено количество технологических каналов, участвующих в обработке поездов международного сообщения, и среднее время, затрачиваемое на обслуживание грузового поезда (таблица 1).

Таблица 1 – Технологические каналы и среднее время на обслуживание поездов международного железнодорожного сообщения

Железнодорожная станция	Технологические каналы	Время	
		мин	ч
Орша-Центральная	4	115	1,9
Молодечно	9	290	4,8
Лида	7	195	3,3
Лунинец	8	200	3,3
Брест-Восточный	8	290	4,8
Брест-Северный	8	260	4,3
Гомель**	8	201	3,4
Калинковичи	8	210	3,5
Витебск	4	86	1,4
Полоцк*	9	150	2,5

* Железнодорожная станция, на которой выполняется пограничный контроль.
 ** Все грузовые поезда международного сообщения на железнодорожную станцию Гомель поступают в расформирование.

Из таблицы 1 видно, что количество технологических каналов, участвующих в обработке поездов международного сообщения, колеблется от 4 до 9. Проанализировав зависимость времени обработки поездов от количества технологических каналов на СПВ, можно сказать, что чем больше технологических каналов задействовано в обработке поезда, тем дольше он обрабатывается. Поэтому можно принять, что один из факторов, влияющих на продолжительность обработки поезда, – это количество технологических каналов. Хотя есть исключения, как, например, по СПВ Полоцк, где при 9 технологических каналах среднее время обработки международного поезда составляет 150 мин. Это значительно меньше, чем на СПВ с 7 и 8 технологическими каналами. Но всё зависит от рода перевозимого груза.

Только на 30 % СПВ производится пограничный контроль. На 50 % СПВ пограничный контроль отсутствует. Он производится до прибытия поезда на первой железнодорожной станции (или специально оборудованных пунктах пропуска), которая расположена после государственной границы. На 20 % СПВ пограничный и таможенный контроль не производится в связи с отправлением (прибытием) поездов в Российскую Федерацию или из неё.

Обработка транспортного потока (грузовых поездов) производится двумя линиями [3]. Одна линия, в которую входят технологические каналы работников ПТО, ПКО и пограничного контроля, обрабатывают поезда. Обработка информационного потока (перевозочных документов) производится другой линией, в которую входят технологические каналы СТЦ, пункта передачи вагонов, таможенного, ветеринарного и фитосанитарного контроля. Структурная схема взаимодействия технологических каналов при обслуживании поезда международного железнодорожного сообщения на СПВ Белорусской железной дороги приведена на рисунке 4.

Работа каждой линии выражается рядом временных параметров, от которых зависит производительность работы технологических каналов обслуживания и в конечном итоге пропускная способность СПВ.

Обработка поезда первой линией происходит сперва пограничным контролем, а потом сразу параллельно всеми технологическими каналами, а вот обработка второй линией перевозочных документов происходит последовательно каждым каналом (пока комплект перевозочных документов на поезд полностью не обработается одним каналом, другому они не передаются).

Проанализировав время, затрачиваемое каждым технологическим каналом на обработку транспортного потока и перевозочных документов, следует, что лимитирующими технологическими каналами являются пункт передачи вагонов (от 43 до 115 мин) и таможенного контроля (от 50 до 200 мин).

Для уменьшения времени обработки перевозочных документов предлагается введение частичной параллельности обработки перевозочных документов (первый технологический канал после обработки части перевозочных документов передает ее следующему технологическому каналу и так далее), что позволит уменьшить время на обработку перевозочных документов.

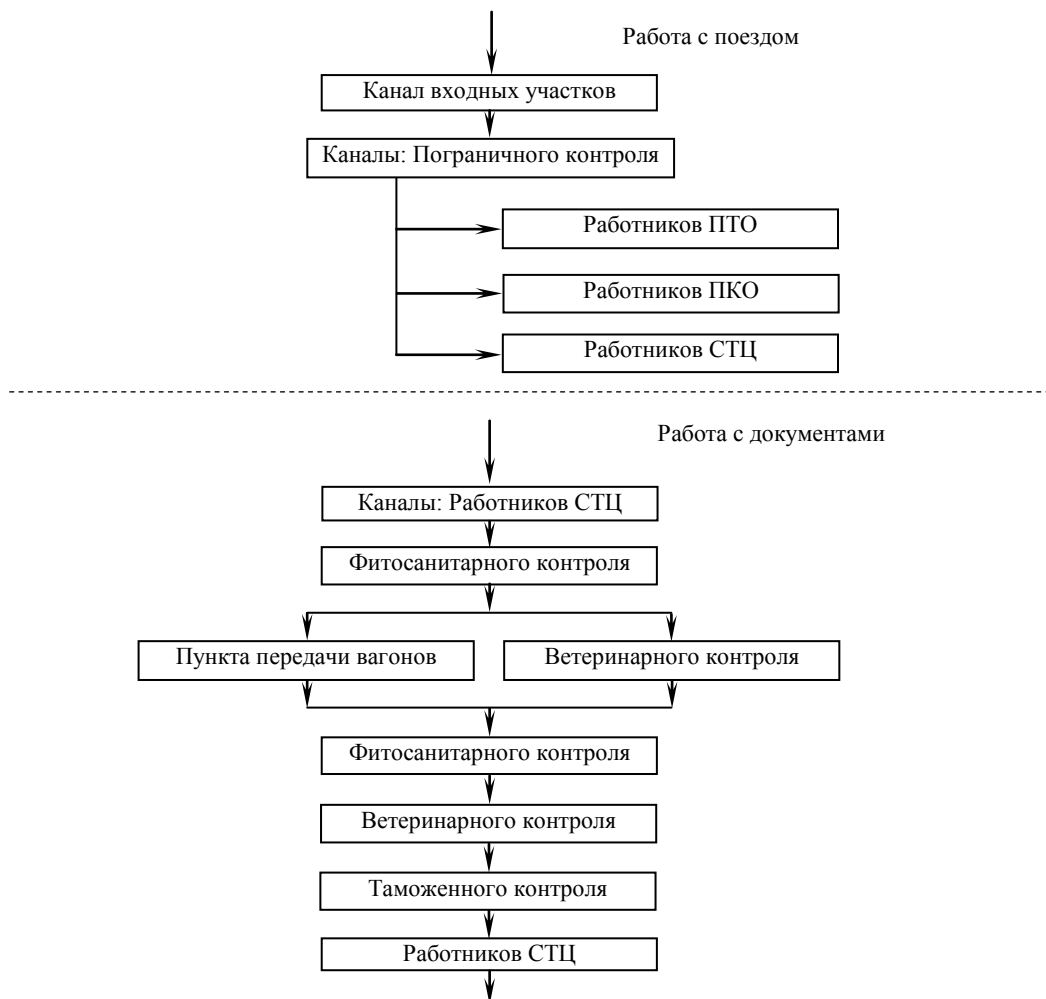


Рисунок 4 – Структурная схема взаимодействия технологических каналов при обслуживании поездов международного железнодорожного сообщения на СПВ Молодечно (прибывающих из Литвы)

Например, при внедрении новой технологии с частичной параллельностью обработки комплекта перевозочных документов на поезда международного сообщения, следующих через СПВ Молодечно, время обработки комплекта перевозочных документов уменьшится в интервале от 35 до 55 мин на каждый комплект перевозочных документов по различным технологическим графикам обработки грузовых поездов, и годовой экономический эффект составляет около 24 тыс. руб. [4].

Список литературы

1 Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог : учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.

Получено 22.03.2017

A. A. Aksyonchikov. The structure and relationship of subsystems involved in servicing the transport stream transmission stations wagons.

Transfer station wagons seemed like a network of subsystems (parks) queueing traffic (trains) and their close interaction with each other in operational work. Examples of specific railway stations on the structure and interaction of the subsystems involved in servicing the working.

The influence of technological channels for maintenance of the trains in the station wagon transmission subsystems. Proposed activities to expedite traffic flow in the subsystems services transfer station wagons.

2 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П. С. Грунтов [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

3 Аксёничков, А. А. Факторы, влияющие на время, затрачиваемое при обслуживании поездов и вагонов на международных передаточных железнодорожных станциях / А. А. Аксёничков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2014. – № 1 (28). – С. 87–91.

4 Аксёничков, А. А. Уменьшения времени нахождения поездов международного сообщения на станциях передачи вагонов / А. А. Аксёничков, Е. А. Аксёникова // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2007. – № 1–2 (14–15). – С. 63–66.