

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В.А. Поначугин

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО
ПРОЦЕССА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

МОНОГРАФИЯ

Нижегород
ННГАСУ
2012

УДК 656

ББК 39.8

П 56

Поначугин В.А. Оценка надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта: Монография. – Н.Новгород: Нижегород. Гос. Архит.-строит. Ун-т, 2008. – 92 с.: ил.26.

ISBN

Исследуется проблема надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта.

Рассматривается математическое описание перевозочного процесса, среда функционирования городского пассажирского транспорта и ее влияние на надежность перевозочного процесса. Приводится система показателей надежности перевозочного процесса, методологический подход к процессу оценки надежности перевозочного процесса, факторы снижения надежности перевозочного процесса и оперативное управление надежностью внутригородских пассажирских перевозок.

Монография рассчитана на руководителей и специалистов службы (отделов) движения транспортных предприятий городского пассажирского транспорта, работников местных органов управления, а также студентов, магистрантов и аспирантов транспортных специальностей и специализаций, занимающихся вопросами организации движения наземного городского пассажирского общественного транспорта.

Рецензенты:

Доктор экономических наук, профессор

Удалов Ф.Е.

Доктор экономических наук, профессор

Веселов Г.В.

УДК 656

ББК 39.8

ISBN © Поначугин В.А., 2012

© ННГАСУ, 2012

Введение

Транспорт является источником жизненной силы современной экономики, способствующим развитию специализации для общего блага [6, с.3].

Особенно, большое значение для жизнеобеспечения городов страны имеет наземный пассажирский транспорт общественного назначения.

Ни один город, по мнению известного зарубежного архитектора Ле Корбюзье, не может расти быстрее, чем его транспорт.

С ростом городов по численности населения и территории в геометрической прогрессии возрастает объем работы городского транспорта, так как вместе с увеличением количества населения растет и его подвижность (среднее количество передвижений, приходящихся на одного жителя), а расширение территории приводит к увеличению средней дальности поездки каждого пассажира [8, с.4].

В настоящее время городскому пассажирскому транспорту (ГПТ) присуща проблема темпа роста городов и городского населения.

Общая тенденция урбанизации заставляет повышать уровень развития, разветвленность, плотность маршрутной сети городского транспорта, его количественные и качественные характеристики, непосредственно определяющие время, которое городской житель вынужден затрачивать на необходимые поездки.

Территориальное расширение городов вступает в противоречие с необходимостью быстрого перемещения населения от места проживания к месту временного пребывания.

Разрешение этого противоречия видится в совершенствовании работы ГПТ и, в частности, – повышении надежности перевозочного процесса.

Работа ГПТ оказывает существенное воздействие на эффективность трудовой деятельности населения города, величину и структуру свободного времени, удовлетворяя важнейшую социальную потребность – сокращение затрат времени на перемещение в пределах города.

Установлено, что в городах с населением более 500 тыс. чел. 21,1 % населения

затрачивает на передвижение к месту работы от 1 до 2 ч, а 7,3 % - более 2 ч.

Главным критерием оценки качества работы городского пассажирского транспорта являются уровень качества транспортного обслуживания и значения показателей эксплуатационной деятельности транспортных предприятий.

Качество транспортного обслуживания населения города характеризуется, прежде всего, продолжительностью ожидания пассажирами на остановочных пунктах прибытия подвижного состава, временем поездки и комфортабельностью условий пребывания в подвижном составе.

Эксплуатационными показателями работы ГПТ, связанными с качеством транспортного обслуживания, являются: регулярность, интервал движения, время оборотного рейса и т.д.

Однако воздействие общей среды функционирования городского пассажирского транспорта приводит к возникновению сбоев перевозочного процесса и, как следствие, к дестабилизации перевозочного процесса и соответственно к снижению качества транспортного обслуживания населения.

Анализ продолжительности ожидания пассажирами прибытия подвижного состава ГПТ, проведенного автором [11, с.111], показывает, что ее величина находится в прямой зависимости от времени опоздания прибытия и количества выбывшего из движения подвижного состава ГПТ.

Из всех слагаемых времени поездки наиболее отрицательно пассажирами оценивается, прежде всего, продолжительность ожидания прибытия подвижного состава, потому что оно не используется для передвижения и является потерей времени.

Затраты времени на передвижение возрастают по мере увеличения продолжительности ожидания, вызванного опозданием или не соответствием фактического количества подвижного состава требуемому.

Так, при следовании пассажиров городским электротранспортом (ГЭТ) на расстояние, равное 2 км, и увеличении времени ожидания прибытия подвижного состава на 5 мин длительность поездки возрастает по трамваю на 19,2%, троллейбусу – 25,0%.

Выбытие с линии одной подвижной единицы увеличивает интервал движения и соответственно затраты времени пассажиров, следующих на расстояние, равное 2 км, трамваем на 23,0%, троллейбусом – 30,0%.

Кроме того, следует отметить, что увеличенное время ожидания подвижного состава из-за опоздания прибытия оказывает большое влияние на длительность поездок, осуществляемых пассажирами на короткие расстояния, по сравнению с поездками на длительное расстояние.

Опоздание, выбытие подвижного состава, наряду с внеплановым увеличением мощности пассажиропотока, вызванного скоплением пассажиров в связи с завершением спортивных и культурно-массовых мероприятий, приводят к сверхнормативному увеличению наполнения салона подвижного состава ГПТ и соответственно к дискомфортным условиям поездки.

Нарушения пассажирских перевозок, наряду с ухудшением качества транспортной услуги, приводят к снижению значений технико-экономических показателей деятельности транспортных хозяйств городского пассажирского транспорта: сокращению объема пассажирских перевозок, пассажирооборота, размера выручки за проезд, величины производительного пробега, увеличению непроизводительных эксплуатационных затрат и соответственно себестоимости перевозки. Например, увеличение в 1,5 раза количества выбытий с линии подвижного состава с недоработкой до планового времени 3 часа увеличивает себестоимость перевозки одного пассажира до 3%.

Исходя из вышеприведенного, возникает настоятельная необходимость обеспечения стабильности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта путем оценки надежности выпуска и движения подвижного состава с последующим в случае необходимости принятия соответствующих мер.

Однако в настоящее время оценка надежности перевозочного процесса в транспортных предприятиях ГПТ страны практически не проводится.

В определенной степени косвенным путем при анализе исполненного движения специалистами Службы движения транспортного предприятия осуществляется частичная оценка, но она не носит системный характер и не обладает

дает комплексностью подхода к решению проблемы.

Поэтому возникла настоятельная необходимость разработки и внедрения транспортными хозяйствами ГПТ страны системы комплексной оценки надежности перевозочного процесса, которая охватывала бы различные уровни реализации перевозочного процесса – от маршрута до транспортного предприятия включительно.

Оценка показателей надежности перевозочного процесса, решение задач оптимизации, связанных с поддержанием и восстановлением работоспособности производственной системы обеспечения внутригородских пассажирских перевозок, требует использования математической теории надежности.

Под надежностью понимается свойство системы выполнять заданные функции на определенном интервале времени и при этом поддерживать значения установленных производственных характеристик в заданных границах при соответствующих условиях эксплуатации, ремонта, хранения и транспортировки[5, с.9].

Однако такое определение надежности слишком общее, чтобы служить рабочей основой для большинства прикладных исследований в транспортной области.

Поэтому оценка надежности осуществляется в зависимости от системы и ее назначения на основе количественных показателей, которые отражают ту или иную существенную сторону явления.

Указанное выше свойство системы транспортного обслуживания городского населения обеспечивается безотказностью и восстанавливаемостью перевозочного процесса ГПТ.

Безотказность перевозочного процесса достигается соответствующим техническим обслуживанием и ремонтом элементов, обеспечивающих перевозочный процесс, в том числе подвижного состава, рельсового пути, контактно-кабельной сети (для городского электротранспорта) и т.д., которые обеспечиваются системой управления, подготовкой выпуска и движения подвижного состава ГПТ (СУПВД ГПТ).

Восстанавливаемость, т. е. восстановление нарушенного перевозочного процесса, обеспечивается системой оперативного управления (СОУП ГПТ), входящей в качестве подсистемы в состав структуры производственной системы обеспечения внутригородских пассажирских перевозок.

Поэтому производственная система обеспечения внутригородских пассажирских перевозок может быть отнесена к числу восстанавливаемых систем.

Безотказность и восстанавливаемость перевозочного процесса существенно зависят от характера возникающих сбоев, которые могут быть подразделены на внезапные и постепенные.

Внезапные сбои практически мгновенно переводят перевозочный процесс из работоспособного состояния в состояние полного или частичного отказа от предоставления населению города транспортной услуги.

Причинами таких сбоев могут являться дорожно-транспортное происшествие, обрыв контактного провода, задержка другими видами транспорта и т.д.

В наибольшей мере этим сбоям подвержен перевозочный процесс рельсового вида городского транспорта (трамвай) из-за недостаточной маневренности (невозможности объехать впереди возникшее препятствие на пути следования).

О постепенных отказах говорят в тех случаях, когда удовлетворительное выполнение перевозочного процесса сохраняется в некоторой допустимой области характерных и зависящих от времени параметров (ограничение скорости движения в связи с неудовлетворительным состоянием рельсового пути, контактной сети и т.д.).

Наблюдение за вектором параметров позволяет прогнозировать работоспособность и неработоспособность системы [5, с.11].

Причиной постепенных отказов является нарастающий физический износ технических элементов обеспечения перевозочного процесса - подвижного состава ГПТ, рельсового пути, контактно-кабельной сети городского электро-транспорта и т.д.

Оценка безотказности и восстанавливаемости требует разработки количественных показателей.

Совокупность количественных показателей оценки надежности образует систему, позволяющую оценить надежность перевозки пассажиров на различных уровнях интеграции перевозочного процесса.

Сравнительный анализ полученных результатов оценки позволит определить закономерности снижения надежности, выявить узкие места, установить причину и факторы негативного влияния.

В случае отрицательной динамики транспортными хозяйствами ГПТ осуществляется разработка и реализация стратегии повышения надежности перевозочного процесса.

Исходя из вышеизложенного, следует, что обеспечение достаточной надежности внутригородских пассажирских перевозок посредством объективной оценки надежности перевозочного процесса и оперативного принятия превентивных мер является в настоящий период одной из актуальных задач, стоящих перед наземным общественным городским пассажирским транспортом.

ГЛАВА 1. НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

1.1. Перевозочный процесс городского пассажирского транспорта

В процессе своей деятельности любой вид транспорта не увеличивает количество представленных ему для перемещения объектов, не изменяет их формы, свойства и качества.

Изменяя пространственное бытие объектов, транспорт увеличивает их стоимость в результате затрат живого и овеществленного труда на перемещение.

При некотором фиксированном уровне развития производительных сил такое возрастание стоимости определяется временем нахождения объектов на транспорте [4, с.54,55].

Указанная оценка в определенной степени относится и к городскому пассажирскому транспорту общего пользования, но с определенным уточнением.

На городском пассажирском транспорте, в отличие от грузового, в качестве объекта перемещения выступают пассажиры.

Результатом их перевозки является не возрастание стоимости самого объекта перемещения, т.е. пассажира, а стоимость транспортной услуги, предоставляемой населению города. При этом, в отличие от вышеприведенного, возрастание стоимости перевозки не связано прямой зависимостью с продолжительностью самой поездки, так как на городском общественном пассажирском транспорте действует единый тариф.

Затраты транспортного предприятия на оказание транспортной услуги покрываются за счет сбора выручки за проезд и дотации из местного бюджета.

Обеспечение транспортной услуги населению осуществляется производственной системой ГПТ.

Производственная система – это единство материальных и нематериальных компонентов анализируемого объекта, их внешних и внутренних связей,

обеспечивающих рациональность информационных, производственных, управленческих и других процессов по переработке входа системы объекта в ее выход и достижение целей субъекта управления [17, с.12].

Укрупненная структура производственной системы обеспечения перевозочного процесса приведена на рис. 1.1.

Производственная система обеспечения транспортного обслуживания городского населения

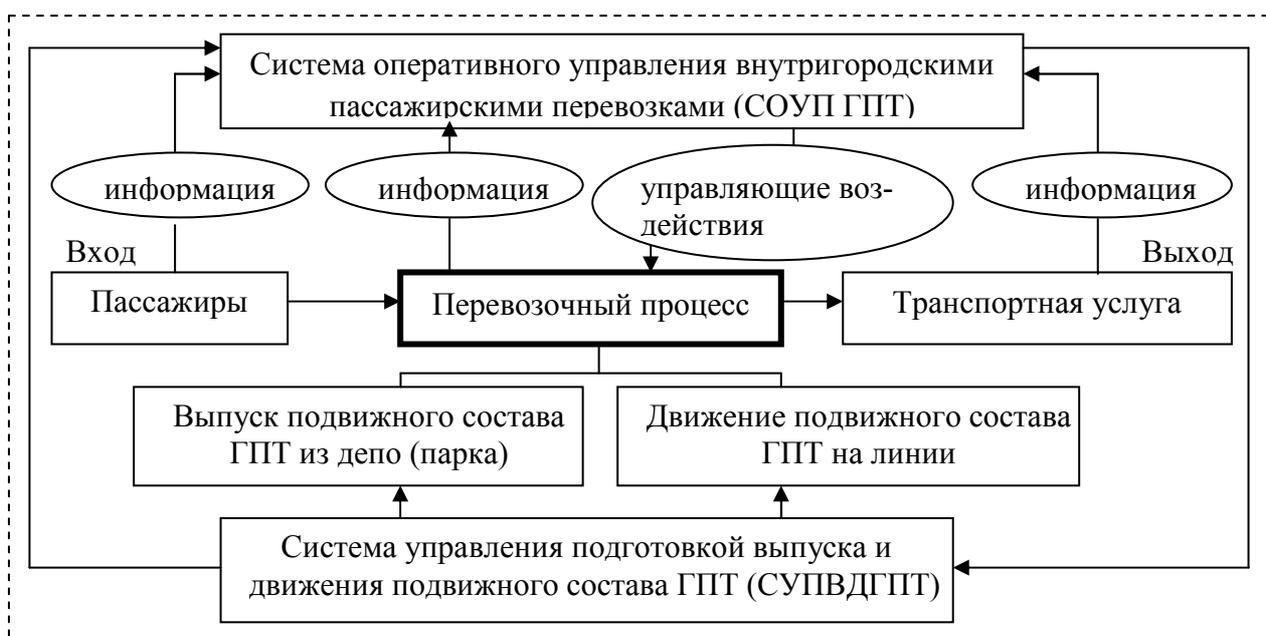


Рис. 1.1. Укрупненная структура производственной системы обеспечения транспортного обслуживания населения города

Производственная система городского пассажирского транспорта, действующая как одно целое, должна обеспечивать экономичные, безопасные и надежные перевозки при минимальном загрязнении окружающей среды.

Однако достижение этой цели не обеспечивается, поскольку городской пассажирский транспорт еще не вышел полностью из глубокого кризиса.

Отмечается стагнация, а в некоторых городах страны и деградация городского пассажирского транспорта – снижаются технико-экономические показатели эксплуатационной деятельности ГПТ (объем перевозок, пробег, вагоно(машино)-часы работы на линии и т.д.), ухудшается качество транспортного обслуживания городского населения (увеличивается продолжительность ожидания пассажирами прибытия подвижного состава, интервалы движения и т.д.).

Это обусловлено отсутствием требуемого объема финансовых ресурсов на

развитие городского пассажирского транспорта потому, что новые рыночные механизмы финансирования деятельности еще не сформировались до конца, а старые схемы уже не действуют.

Снижение качества транспортного обслуживания городского населения отрицательно сказывается на жизнеобеспечении городов.

Решение транспортной проблемы в современных условиях хозяйствования только экстенсивным методом (за счет капитальных вложений в новое строительство депо, парков, приобретение подвижного состава ГПТ и т.д.) затруднено недостаточностью средств.

Поэтому одним из путей выхода из сложившейся ситуации является использование интенсивного метода решения проблемы путем оптимизации работы производственной системы обеспечения транспортного обслуживания населения, охватывающей все виды городского наземного общественного пассажирского транспорта, учета четырех элементов перевозочного процесса (подвижной состав, инфраструктура, условия движения, улучшение организации перевозок и информации) [13, с.34].

В качестве субъекта производственной системы выступает совокупность ее взаимосвязанных подсистем - системы оперативного управления внутригородскими пассажирскими перевозками (СОУП ГПТ) и системы управления подготовкой выпуска и движения подвижного состава (СУПВД ГПТ). Объектом системы выступает перевозочный процесс.

Реализация задач оперативного управления внутригородскими пассажирскими перевозками возлагается на диспетчерский персонал службы движения транспортного предприятия, а подготовки выпуска (движения) подвижного состава ГПТ – на ремонтный персонал депо и парков.

Оперативное управление внутригородскими пассажирскими перевозками решает вопросы восстанавливаемости перевозочного процесса путем принятия и реализации оперативных решений по восстановлению выпуска или движения на линии подвижного состава ГПТ.

Управление подготовкой выпуска и движения подвижного состава ГПТ

обеспечивает безотказность перевозочного процесса через систему технического обслуживания и ремонта подвижного состава, рельсового пути, контактно-кабельной сети (для городского электротранспорта - ГЭТ) и т.д.

На входе производственной системы (в пунктах отправления) имеется объект перемещения, т.е. пассажиры, которых необходимо доставить в пункты назначения.

В ходе перевозочного процесса за счет использования комплексного ресурса (технические средства, квалифицированный персонал, финансы, время, искусство управления и т.д.) происходит перемещение пассажиров, т.е. оказывается транспортная услуга населению города [6, с.8].

Перевозочный процесс, являясь важнейшим компонентом системы, предусматривает выпуск подвижного состава (ПС) ГПТ из депо (парка) и его эксплуатацию на линии. Он имеет циклический характер, то есть в течение периода пребывания на линии каждая подвижная единица (ПЕ) совершает ряд последовательно повторяющихся операций – рейсов.

Исходя из чего функционирование ПЕ ГПТ на маршруте в течение определенного периода работы (от выхода на маршрут до захода в депо или парк) может быть представлена на луче времени (см. рис. 1.2).

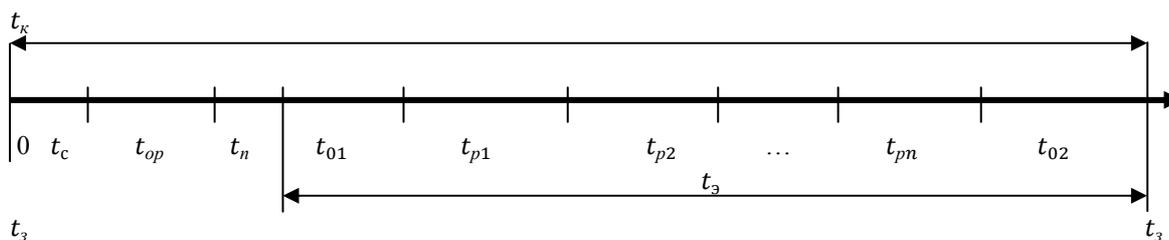


Рис.1.2. Составляющие работы подвижной единицы ГПТ:

t_k — продолжительность календарного периода (например, декада, месяц, полугодие и т.д.);

$t_э$ — продолжительность эксплуатационного периода;

t_3 — момент захода ПЕ в депо или парк;

t_c — продолжительность сдачи водителем ПЕ в депо или парке;

t_{op} — продолжительность технического обслуживания и ремонта (по заявке водителя);

t_n — продолжительность приемки водителем ПЕ в депо или парке;

t_{01} — продолжительность следования ПЕ из депо (парка) к конечной станции маршрута «нулевым» рейсом;

t_{pn} — продолжительность n -го рейса по маршруту;

t_{02} — продолжительность следования ПЕ от конечной станции маршрута к депо (парку) «нулевым» рейсом при завершении работы на маршруте.

В период линейной работы каждая ПЕ совершает ряд последовательно повторяющихся операций – оборотных рейсов. Количество повторяющихся оборотных рейсов каждой ПЕ на маршруте обусловлено маршрутным расписанием движения.

В свою очередь, продолжительность каждого оборотного рейса может быть декомпозирована на ряд составляющих (см. рис. 1.3).

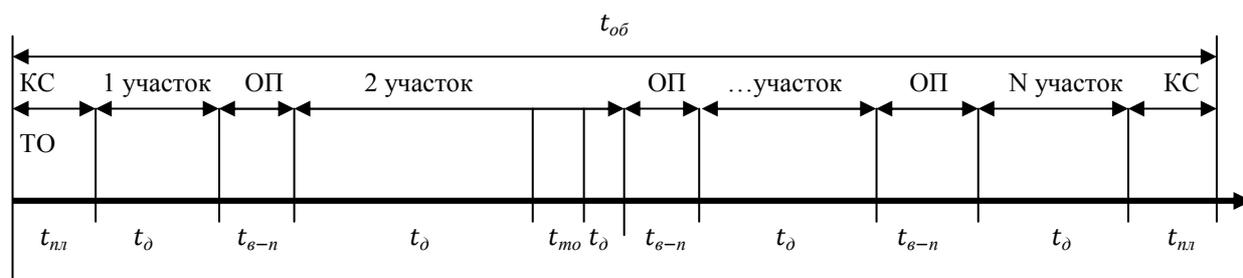


Рис.1.3.Составляющие продолжительности оборотного рейса при движении подвижной единицы ГПТ по расписанию:

ОП - остановочный пункт;

ТО - техническая остановка (при наличии тяжелого профиля пути - для трамвая);

t_{nl} - время планового отстоя на конечной станции;

t_d – время следования по участку между остановочными пунктами;

t_{mo} – время отстоя на технической остановке (присуще маршрутам трамвая с тяжелым профилем пути);

t_{g-n} - время высадки и посадки пассажиров на остановочном пункте;

$t_{об}$ - время оборотного рейса

Деление времени оборотного рейса по маршруту ($t_{об}$) на составляющие обусловлено влиянием на продолжительность отдельных операций различных факторов, а также различным методологическим подходом к их расчету (хронометражные испытания, тяговый расчет и пр.).

Так, на величину t_{g-n} оказывает влияние мощность пассажирообмена на остановочных пунктах, t_d - ограничение скорости движения, тяжелый профиль пути, t_{nl} - частота движения подвижного состава через конечную станцию и т.д. Следовательно, определение продолжительности каждой операции требует специфического информационного обеспечения [4, с.54].

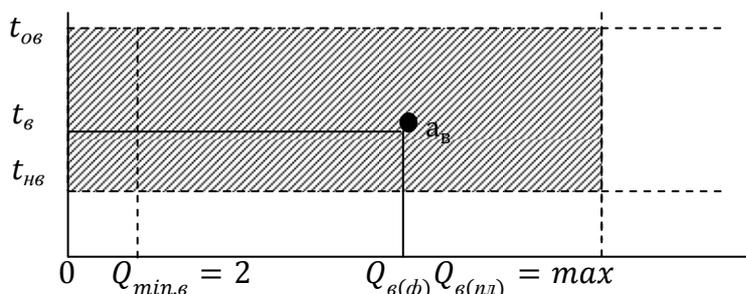
Состояние выпуска и движения ПС ГПТ на линии как составных частей перевозочного процесса характеризуется набором значений переменных величин, представляющих собой координаты [18, с.432].

Координаты перевозочного процесса представляют собой его количест-

венно изменяемый признак, существенный с позиций оперативного управления транспортным обслуживанием населения города.

Геометрическая интерпретация координат и соответственно состояний перевозочного процесса ГПТ отражена на рис. 1.4 [4, с.4].

а) выпуск подвижного состава на i -й маршрут



б) движение подвижного состава по i -му маршруту

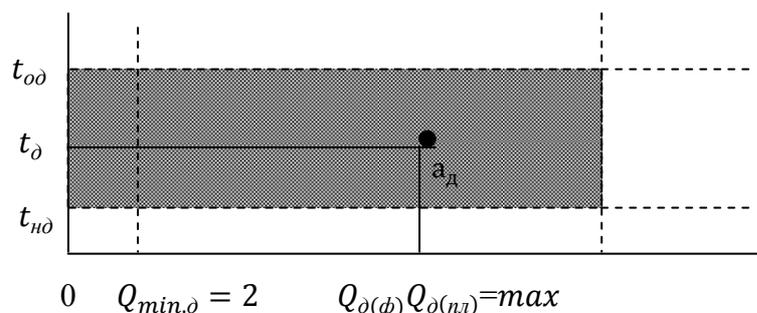


Рис. 1.4. Область возможных состояний перевозочного процесса ГПТ:

$Q_{в(ф)}, Q_{д(ф)}$ – фактическое количество ПС выпущенного из депо (парка), работающего на i -м маршруте на момент $t_в, t_{д}$;

$t_{нв}, t_{нд}$ – плановое время начала выпуска ПС из депо (парка) на i -маршрут, начала движения на i -м маршруте;

$t_{ов}, t_{од}$ – плановое время окончания выпуска ПС из депо (парка) на i -маршрут, окончания движения на i -м маршруте;

$Q_{в(пл)}, Q_{д(пл)}$ – плановое количество ПС, выпущенного из депо (парка) на i -й маршрут, находящегося в движении по i -м маршруту;

$a_в, a_д$ – состояние выпуска из депо (парка), движения подвижного состава на линии

Состояние перевозочного процесса при выпуске и движении описывается в двух координатах: количеством выпущенного из депо (парка) или работающего на маршруте подвижного состава - $Q_в, Q_д$ на моментное время выпуска $t_в$ или движения $t_д$ и отражается при фиксированных координатах изображающей точкой «а» в двумерном (на плоскости) пространстве. В общем случае состояние перевозочного процесса ГПТ определяется значениями n координат как положением точки «а» в двумерном пространстве E^n . Метрическое прост-

ранство, элементами которого является совокупность всех возможных изображающих точек перевозочного процесса в каждый момент времени (начиная от выпуска ПС на линию и заканчивая его заходом в депо или парк), представляет собой соответствующие области.

Соответственно пространство состояний, в котором может находиться точка «а», представляет собой заштрихованную область (см. рис. 1.4), являющуюся областью возможных состояний.

Однако для реального состояния перевозочного процесса положение точки «а» в пространстве более ограничено из-за влияния среды и вероятностного характера внутригородских пассажирских перевозок.

Координаты перевозочного процесса представляют собой компоненты вектора: $\epsilon\{Q_n(t_B)\}$

1. При выпуске – количество ПС, выпущенного из депо (парка) на i маршрут (Q_{ϵ}), время выпуска каждой ПЕ из данного количества - t_{ϵ} .

Координаты перевозочного процесса при выпуске принимают вид $V_i(t) = \epsilon\{Q_1(t_B), \dots, Q_n(t_B)\}$ или $X_i(t) = \epsilon\{Q_n(t_B)\}$, где n – количество ПЕ, выпущенных из депо (парка) на i маршрут, на которые осуществляется выпуск ПС, количество маршрутов $i = \overline{1, m}$.

2. При движении на линии – количество ПС, находящегося в движении по маршруту (Q_d), время прибытия каждой ПЕ из работающего количества (Q_n) на конечную станцию (КС) или контрольный пункт (КП) (t_{np}).

Координаты перевозочного процесса при движении ПС на линии, как и при выпуске, изменяются во времени и представляются в следующем виде:

$D_i(t) = \epsilon\{Q_1(t_{np}), \dots, Q_n(t_{np})\}$ или $X_i = \epsilon\{Q_n(t_{np})\}$, где n – количество ПЕ, работающих на i маршруте, количество маршрутов $i = \overline{1, m}$.

Пространственно-временные координаты каждой ПЕ, участвующей в перевозочном процессе, также изменяются в определенных пределах.

Фазовое состояние при фиксировании по времени прибытия ПЕ на КС или КП описываются двумя координатами – X_1 и X_2 , где X_1 протяженность маршру-

та следования, а X_2 - время движения.

Координата X_1 разбивается на ряд отдельных точек фиксирующих расстояние удаления КП (при их наличии на маршруте) от КС. При этом значение X_1 для КС отправления принимает величину равную нулю.

При движении ПЕ на линии в соответствии с маршрутным расписанием координата X_2 , фиксирующая время следования по участку ограниченному КС (КП) или «КП-КП», «КС-КС» (при условии отсутствия КП) находится в интервале $X_{2(\min)}^d \leq X \leq X_{2(\max)}^d$, где: $X_{2(\min)}^d$, $X_{2(\max)}^d$ допустимое минимальное и максимальное время проследования по участку маршрута, т.е. обеспечивающее движение в соответствии с маршрутным расписанием.

Величина допустимого минимального времени пробега определяется как $X_{2(\min)}^d = t_{np} - 1$, а максимально допустимого времени $X_{2(\max)}^d = t_{np} + 2(1)$.

Величина уменьшения времени (-1мин) и превышения (+2(1)мин) пробега устанавливается Правилами технической эксплуатации городского электрического и автомобильного пассажирского транспорта (ПТЭ).

Определение координат при движении на линии в масштабе реального времени требует наличия технических средств постоянного мониторинга за проследованием ПС по маршруту. Наличие таких средств управления значительно повысило бы уровень контроля, соответственно качество и эффективность оперативного вмешательства диспетчерского персонала.

Однако большинство транспортных предприятий не имеют подобных средств технического контроля, что приводит к отсутствию КП и соответственно контролю состояния перевозочного процесса на маршруте только на КС.

Контроль обеспечивается диспетчерским персоналом в момент выхода подвижного состава с территории депо (парка) и по прибытию на КС (КП) путем сравнения фактического времени с плановым, предусмотренным маршрутным расписанием.

Координаты перевозочного процесса изменяются в определенных пределах. Они не могут быть отрицательными, но и превышать максимально допус-

тимого значения. Так, величина Q_g и соответственно Q_d не могут превышать значение, предусмотренное маршрутным расписанием.

Однако следует отметить, что положение изображающей точки в пространстве более ограничено, чем область возможных состояний из-за воздействия на перевозочный процесс среды и вероятностного характера поведения самой системы оперативного управления перевозочным процессом. Исходя из этого, область допустимых состояний перевозочного процесса представляет собой лишь часть области возможных состояний, в которой может находиться изображающая точка «а» с учетом накладываемых ограничений:

1. При выпуске: $t_{нв} \leq t_v \leq t_{ов}, 2 \leq Q_{в(ф)} \leq Q_{в(пл)}$.

2. При движении на линии: $t_{нд} \leq t_d \leq t_{од}, 2 \leq Q_{д(ф)} \leq Q_{д(пл)}$.

Пространство возможных состояний определяет область существования перевозочного процесса, а пространство допустимых состояний – область выпуска и движения подвижного состава ГПТ на линии в соответствии с маршрутным расписанием.

Пространство возможных, но недопустимых состояний перевозочного процесса характеризуется по каждому этапу следующими соотношениями:

1. При выпуске:

- $Q_{в(ф)} < Q_{в(пл)}, t_{в(ф)} > t_{в(пл)}$ – на маршрут выпущено количество ПС меньше планового и с опозданием;

- $Q_{в(ф)} = Q_{в(пл)}, t_{в(ф)} > t_{в(пл)}$ – на маршрут выпущено плановое количество ПС, но с опозданием;

- $Q_{в(ф)} < Q_{в(пл)}, t_{в(ф)} = t_{в(пл)}$, – на маршрут выпущено количество ПС меньше планового, но в соответствии с со временем, предусмотренным расписанием движения.

2. При движении на линии:

- $Q_{д(ф)} < Q_{д(пл)}, t_{пр(ф)} > t_{пр(пл)}$ – на маршруте наполнение ПС меньше планового и ПЕ прибывают с отклонением от планового времени (с опозданием);

- $Q_{д(ф)} = Q_{д(пл)}, t_{пр(ф)} > t_{пр(пл)}$ – на маршруте наполнение ПС соответ-

вует плановому, но ПЕ прибывают на КС (КП) с отклонением от планового времени (с опозданием);

- $Q_{д(ф)} < Q_{д(пл)}$, $t_{пр(ф)} = t_{пр(пл)}$ – на маршруте наполнение ПС меньше планового, но ПЕ прибывают на КС(КП) согласно расписанию движения.

С изменением состояний перевозочного процесса происходит перемещение изображающей эти состояния точки, описывающей фазовую траекторию.

Пространство состояний перевозочного процесса является дискретным, так как оценка времени выпуска из депо (парка), прибытия ПЕ на КС (КП), количества подвижного состава на маршруте осуществляется в определенные моменты времени в фиксированных точках (КП). Поэтому перевозочный процесс ГПТ относится к динамическим процессам, носящим вероятностный характер с дискретными событиями. Исходя из этого, фазовая траектория является кусочно-постоянной и формирует последовательность состояний, времени пребывания в них, образуя фазовое пространство перевозочного процесса, представленное на рис.1.5.

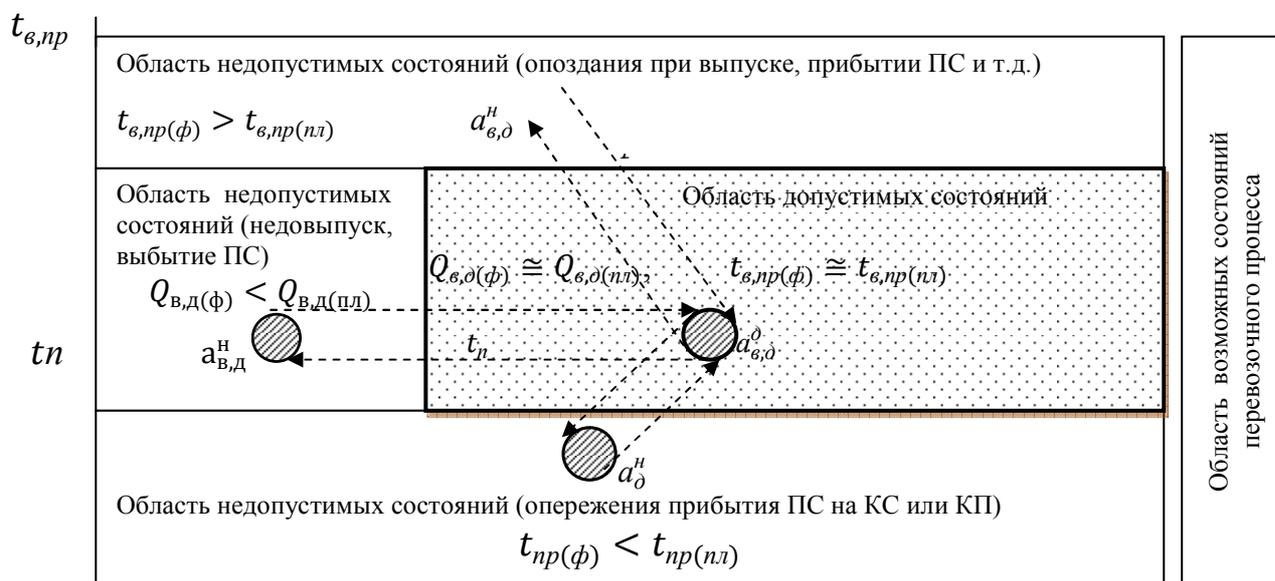


Рис.1.5. Фазовые пространства состояний перевозочного процесса общественного ГПТ: $a_{в,д}^д, a_{в,д}^н, a_{в,д}^д, a_{в,д}^н$ - допустимое, недопустимое состояние перевозочного процесса при выпуске, движении; t_n - продолжительность перехода (время восстановления) перевозочного процесса из возможного состояния в допустимое; \leftarrow - фазовая траектория точки перехода из допустимого состояния в недопустимое и обратно.

Фазовые траектории движения изображающей точки внутри допустимой области, приведены на рисунке 1.6.

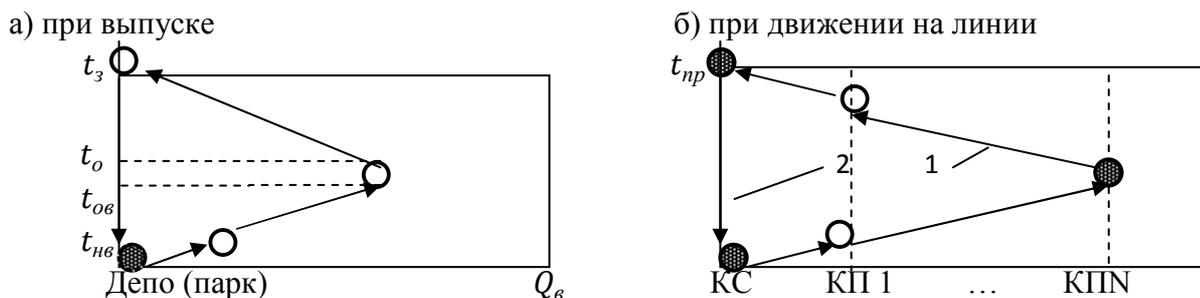


Рис.1.6. Фазовые траектории движения внутри допустимой области:

t_{nv} , t_{ov} – время начала и окончания выпуска ПС из депо (парка); t_o , t_3 – время окончания работы на линии, захода ПС в депо(парк); t_{np} – время прибытия ПЕ на КС; «1» – траектория движения ПС при наличии КП на маршруте, «2» – при отсутствии КП на маршруте.

Установившаяся траектория (динамическое равновесие перевозочного процесса) характеризуется периодичностью, т. е. моментом, когда перевозочный процесс через равные промежутки времени приходит к аналогичному состоянию.

При этом изображающая точка описывает замкнутую траекторию движения внутри допустимой области, совершая цикл, поскольку подвижной состав, выпущенный из депо (парка) должен вернуться после окончания работы на линии обратно, а отправившиеся от конечной станции по маршруту подвижные единицы после выполнения оборотного рейса должны вновь прибыть на конечную станцию.

Исходя из изложенного, возникает необходимость исследования среды функционирования городского пассажирского транспорта и установления факторов негативного влияния на надежность перевозочного процесса.

1.2. Среда функционирования городского пассажирского транспорта

Деятельность городского пассажирского транспорта осуществляется в тесном взаимодействии с общей средой функционирования, которая оказывает возмущающие воздействия на перевозочный процесс общественного городского пассажирского транспорта.

Структура общей среды функционирования ГПТ приведена на рис. 1.7.

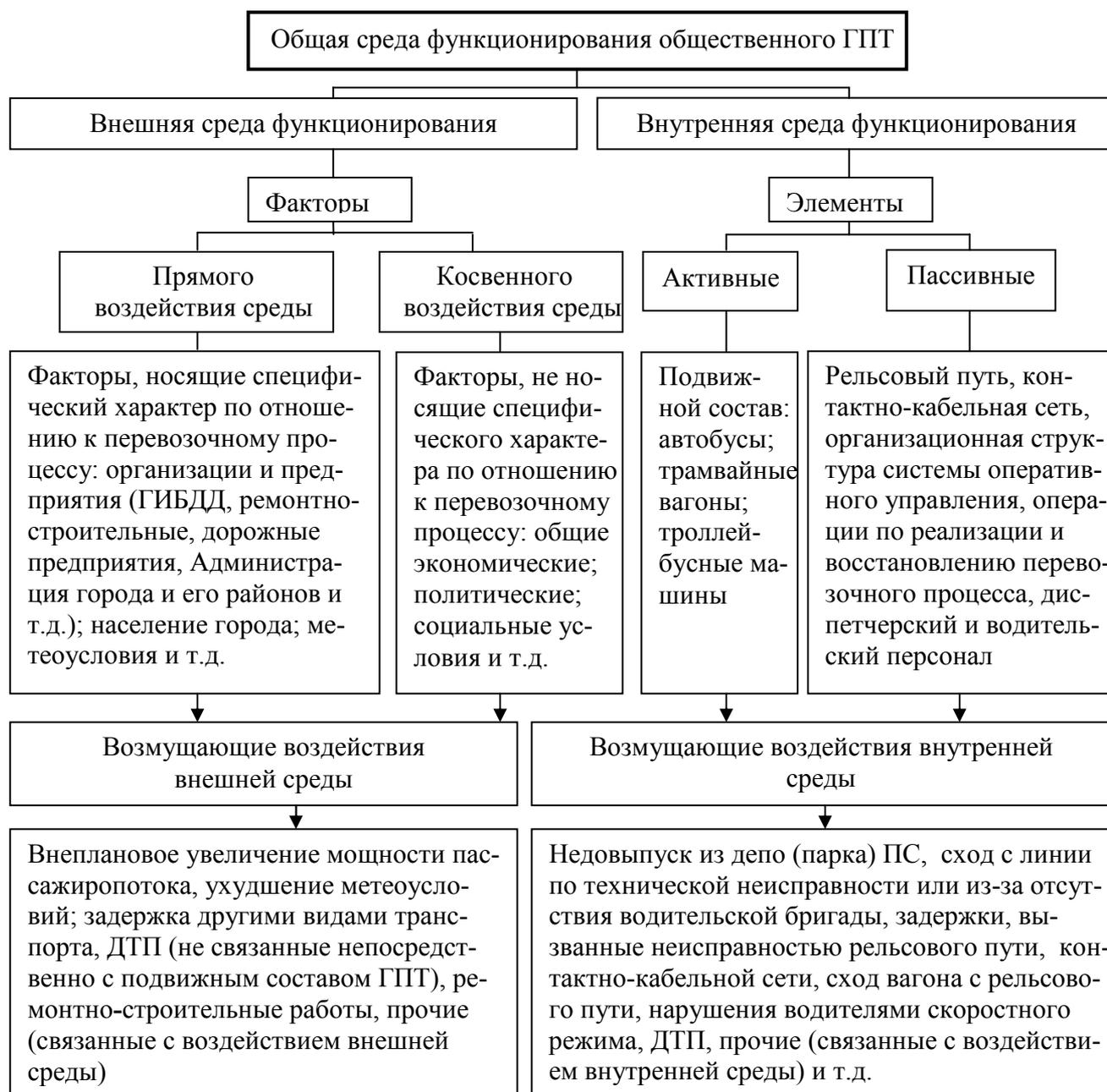


Рис. 1.7. Структура среды функционирования общественного ППТ

Общая среда функционирования городского общественного пассажирского транспорта подразделяется на внешнюю и внутреннюю.

К внешней среде относятся институты, факторы прямого и косвенного воздействия, находящиеся вне системы ОУП ППТ и потенциально влияющие на перевозочный процесс.

К факторам прямого воздействия, повышающих степень неопределенности и оказывающих непосредственное влияние на перевозочный процесс, относятся организации и предприятия (ГИБДД, ремонтно-строительные, дорожные

предприятия, Администрация города и его районов и т.д.), население города, метеоусловия и т.д.

К факторам косвенного воздействия – факторы, не носящие специфического характера по отношению к перевозочному процессу (общие экономические, политические, социальные условия и т.д.).

К внутренней среде относится часть общей среды, находящаяся в рамках и под контролем СОУП ГПТ, постоянно и непосредственно оказывающей влияние на функционирование и эффективность оперативного управления перевозочным процессом.

Внутренняя среда представляет собой совокупность активных и пассивных элементов объекта управления – перевозочного процесса.

К активным элементам относится подвижной состав ГПТ (автобусы, троллейбусные машины, трамвайные вагоны).

К пассивным – рельсовый путь, контактно-кабельная сеть, организационная структура системы оперативного управления, операции по реализации и восстановлению перевозочного процесса, диспетчерский и водительский персонал [9, с.83,85].

Среда функционирования оказывает возмущающие воздействия на работу городского пассажирского транспорта, результатом которых являются сбои перевозочного процесса и соответственно нарушения внутригородских пассажирских перевозок.

К возмущающим воздействиям внешней среды относятся сбои по причине: внепланового увеличения мощности пассажиропотока; ухудшения метеоусловий; задержки другими видами транспорта; ДТП (не связанные непосредственно с подвижным составом ГПТ); ремонтно-строительных работ, препятствующих движению по участку маршрутной сети; прочие (связанные с воздействием внешней среды) и т.д.

К внутренней среде – недовыпуск из депо (парка) подвижного состава из-за его неготовности или отсутствия поездных бригад, несвоевременная готовность в депо (парке) подвижного состава, сход с линии подвижной единицы по

технической неисправности или из-за отсутствия поездной бригады, задержки, вызванные неисправностью рельсового пути, контактно-кабельной сети; сход вагона с рельсового пути, нарушения водителями скоростного режима; ДТП (по вине водителя подвижной единицы), прочие и т.д.

1.3. Влияние среды функционирования городского пассажирского транспорта на перевозочный процесс

Влияние возмущающих воздействий общей среды функционирования городского пассажирского транспорта на перевозочный процесс приводит к сбоям, обуславливающим в свою очередь возникновение нарушений внутригородских пассажирских перевозок и ухудшение качества транспортного обслуживания населения.

Влияние на перевозочный процесс возмущающих воздействий среды можно охарактеризовать следующими условиями:

$x_{вн} = 0, x_{вв} \neq 0, X = x_{вв}$ — перевозочный процесс нарушен воздействием внутренней среды;

$x_{вн} \neq 0, x_{вв} = 0, X = x_{вн}$ — перевозочный процесс нарушен воздействием внешней среды;

$x_{вн} \neq 0, x_{вв} \neq 0, X = x_{вн} + x_{вв}$ — перевозочный процесс нарушен комбинированным воздействием внешней и внутренней среды;

$x_{вн} = 0, x_{вв} = 0, X = 0$ — перевозочный процесс находится в состоянии динамического равновесия.

В практической деятельности транспортного предприятия множества $\in X$ и $\in Y$ являются конечными и представляют собой дискретный ряд распределения.

Поэтому выражение $S = (X, Y)$ можно рассматривать в виде графа, вершинами, которых являются элементы СОУП ГПТ, а ребрами — отношения между ними. Граф оперативной системы управления перевозочным процессом ГПТ и

ее взаимосвязи со средой функционирования приведен на рис. 1.8.



Рис.1.8. Граф оперативной системы управления перевозочным процессом ГПТ и ее взаимосвязи со средой функционирования

Из графа следует, что $X = \epsilon x_{вн} + \epsilon x_{вс}$, где $x_{вн} = \{x_i : i = 1, 2, \dots, n\}$ – состояние перевозочного процесса под воздействием внешней среды, $x_{вс} = \{x_i : i = 1, 2, \dots, n\}$ – под воздействием внутренней среды.

Значительное количество сбоев, как показывает практика, возникает в результате воздействия на перевозочный процесс внутренней среды.

Причиной возникновения этих сбоев является в основном техническая неисправность подвижного состава ГПТ, обусловленная его значительным физическим износом.

Решение проблемы видится в обновлении парка подвижного состава. Однако в настоящее время поступление нового подвижного состава в транспортные хозяйства ГПТ не носит массовый характер.

Требуется переоснащение парка подвижного состава и материально-технической базы большинства пассажирских транспортных предприятий страны.

Однако даже при полном обновлении парка и обеспечивающих подсистем ГПТ на перевозочный процесс по-прежнему будет оказывать влияние внешняя и внутренняя среда функционирования.

Закономерность взаимосвязи обновления парка подвижного состава ГПТ и сбоев перевозочного процесса с некоторой степенью допущения отражена в графической форме на рис.1.9.

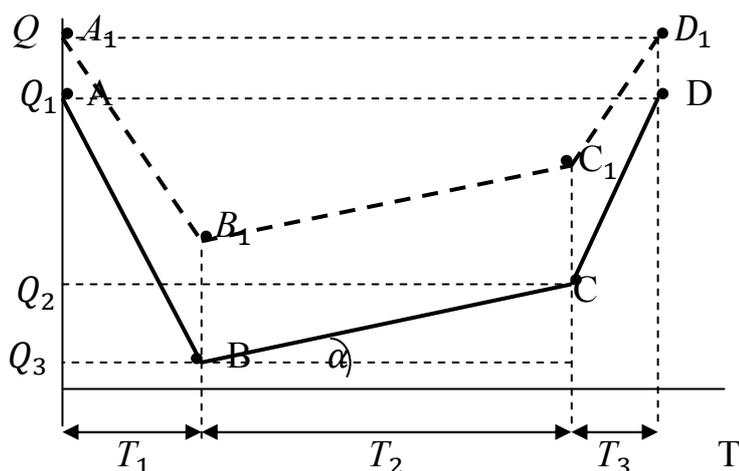


Рис.1.9. Закономерность взаимосвязи обновления парка подвижного состава ГПТ и возникновения сбоев перевозочного процесса:

Q – количество сбоев перевозочного процесса ГПТ, ед.;

T – время эксплуатации подвижного состава ГПТ на линии, год;

— - $ABCD$ кривая изменения количества сбоев при воздействии внутренней среды (ПС);

--- - $A_1B_1C_1D_1$ кривая изменения количества сбоев при совместном воздействии внешней и внутренней среды на перевозочный процесс ГПТ

Ломаная линия $ABCD$ (см.рис. 1.9) отражает функцию $Q=f(T)$, где точка A отражает количество сбоев Q_1 в начале поставки нового ПС, т. е. это количество, обусловленное эксплуатацией еще старого и не списанного с баланса транспортного предприятия подвижного состава.

Отрезок AB отражает период (T_1) списания старого подвижного состава, ввод и начало эксплуатации нового, что характеризуется уменьшением количества сбоев с величины равной Q_1 до Q_3 . Однако по мере эксплуатации нового подвижного состава за период T_2 происходит постепенное увеличение его физического износа и соответственно рост сбоев до величины Q_2 .

Угол наклона отрезка BC к оси абсцисс (α) обусловлен интенсивностью использования подвижного состава на линии и качеством профилактических,

ремонтных работ в депо (парке). Чем интенсивнее использование и ниже качество технического обслуживания, тем этот угол больше, что соответствует возрастанию количества сбоев перевозочного процесса по причине технической неисправности.

Наращение степени физического износа за период T_3 приводит к резкому увеличению количества сбоев Q_1 . Причем если в первоначальный период поставки и ввода эксплуатацию нового ПС внешняя среда оказывает большее воздействие на перевозочный процесс, нежели внутренняя, то по мере износа парка ПС и обеспечивающих подсистем это соотношение выравнивается, а в дальнейшем начинает преобладать воздействие внутренней среды.

Закономерность взаимосвязи обновления парка подвижного состава ГПТ и уровня качества транспортного обслуживания приведена на рис.1.10.

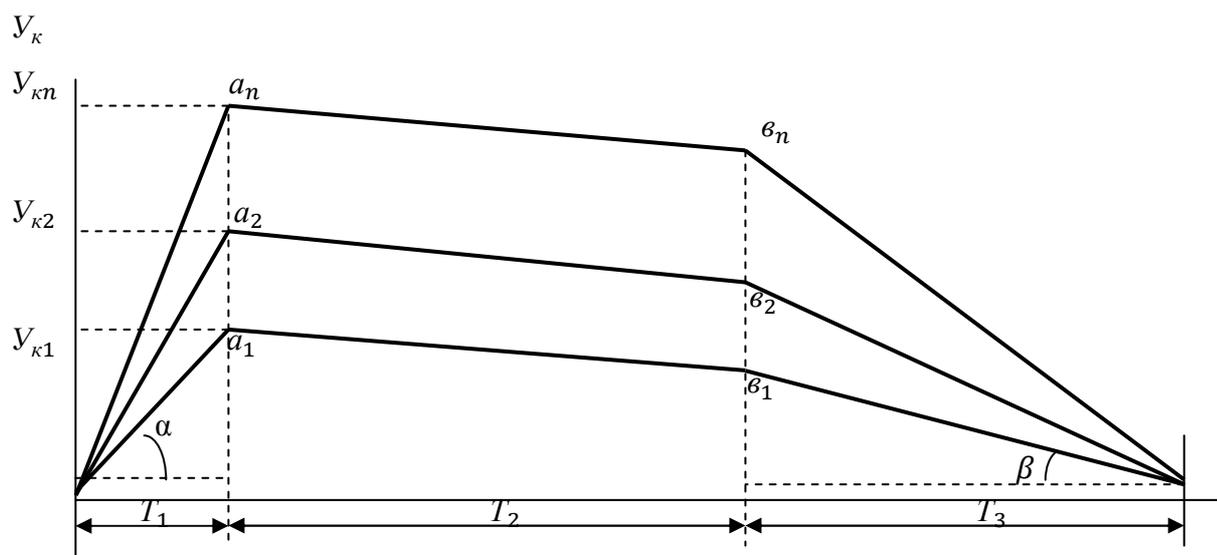


Рис.1.10. Взаимосвязь процесса обновления парка подвижного состава ГПТ и уровня качества транспортного обслуживания:

Y_k – уровень качества транспортного обслуживания (от Y_{k1} до Y_{kn}); n – количество подвижного состава поступившего в хозяйство и принятого на баланс (от 1 до n); T_1 – период эксплуатации подвижного состава до начала физического износа (появление отказов по технической неисправности); T_2 – период эксплуатации подвижного состава с началом физического износа; T_3 – период сверхнормативной эксплуатации подвижного состава; α – угол, определяющий темп роста уровня качества транспортного обслуживания в зависимости от количества поступившего подвижного состава в транспортное хозяйство; β – угол, определяющий убывание темпа роста качества транспортного обслуживания от увеличения продолжительности сверхнормативной эксплуатации подвижного состава.

По многим характерным качественным признакам возмущающие воздействия равнозначны (например, задержка другими видами транспорта (за-

тор),ухудшение метеоусловий и т.д., приведшие к опозданию прибытия подвижной единицы на конечную станцию),но в то же время отличаются по степени влияния на перевозочный процесс и качество транспортного обслуживания, объему и продолжительности их устранения.

По степени последствий воздействия на перевозочный процесс сбои подразделяются на сбои, приводящие к полным и (или) частичным нарушениям выпуска, движения подвижного состава.

Разделение носит несколько условный характер. Например, если выбытие с линии по технической неисправности подвижного состава ГПТ приводит к ухудшению качества транспортного обслуживания на маршруте (увеличение продолжительности ожидания прибытия ПС, наполняемости салона ПЕ), то неисправность рельсового пути или контактно-кабельной сети ГЭТ исключает частично или полностью не только движение ПС по маршруту (ам), но и соответственно предоставление транспортной услуги, что в свою очередь ухудшает практически качество функционирования всей системы. По степени обнаружения факта возникновения сбои перевозочного процесса подразделяются на явные и скрытые.

Явные сбои выявляются линейным диспетчерским персоналом в процессе точечного контроля, т.е. в момент прибытия подвижного состава на конечную станцию (промежуточный контрольный пункт) или при получении информации непосредственно с линии от водителей.

Скрытые сбои возникают в период следования между конечными станциями (промежуточными контрольными пунктами) и устраняются водителем самостоятельно без участия диспетчерского персонала службы движения.

Согласно классификации по степени воздействия на перевозочный процесс сбои подразделяются на малозначительные, значительные и критические, которые оказывают непосредственное влияние как на выпуск, так и на эксплуатацию подвижного состава ГПТ на линии.

Возникновение малозначительных сбоев обусловлено несвоевременной готовностью к выпуску подвижного состава или поездных бригад, нарушением на

линии скоростного режима, не длительной задержкой другими видами транспорта и т.д.

Причинами значительных сбоев являются техническая неготовность и неисправностью подвижного состава, рельсового пути, нарушение энергоснабжения городского электротранспорта и т.д.

Критические сбои, вызванные в основном воздействиями внутренней среды (значительным недовыпуском ПС, длительными задержками при выпуске или движении, ДТП, задержкой другими видами транспорта, временным выходом из эксплуатации участка маршрута следования), присущи в большей степени городскому электротранспорту, как менее маневренному виду транспорта по сравнению с автобусом.

Малозначительные и значительные сбои, устраняемые диспетчерским персоналом оперативными мерами воздействия на перевозочный процесс, относятся к устранимым.

Критические сбои требуют в большинстве случаев привлечения технической или аварийно-восстановительной службы и носят комбинированный характер устранения (сбои частично устранимые и неустранимые). Эта двойственность объясняется тем, что для части подвижного состава, оказавшегося под задержкой (эта ситуация присуща в основном для ГЭТ), сбой до момента ликвидации неисправности элемента системы является неустранимым.

С момента устранения неисправности, препятствующей движению ПС, неустранимые сбои переходят в разряд устранимых, так как диспетчерским персоналом начинается восстановление перевозочного процесса на маршруте.

Особо негативное влияние на качество транспортного обслуживания населения ГПТ (большая продолжительность ожидания пассажирами прибытия подвижного состава и соответственно времени поездки, переполнение пассажирами ПЕ и т.д.) оказывают критические сбои.

Устранение последствий воздействия этих сбоев требует вмешательства диспетчерского персонала за счет принятия порой достаточно сложных (комбинированных) управленческих решений, предусматривающих:

1. Организацию движения по маршруту (ам) в период устранения задержки для части ПС, не попавшего в простой путем принятия решений с учетом степени развития маршрутной сети.

2. Восстановление перевозочного процесса после ликвидации задержки на линии. По продолжительности действия сбои перевозочного процесса подразделяются на кратковременные и долговременные.

Кратковременные (не более 10% времени оборотного рейса) сбои приводят к опережению или незначительному опозданию прибытия.

Сбои долговременного характера возникают в результате резкого, скачкообразного изменения основных параметров перевозочного процесса и приводят к увеличенному интервалу или задержкам движения подвижного состава. Такими сбоями могут являться: выбытие подвижного состава с линии (две и более ПЕ); сход вагона с рельсового пути; временный выход из эксплуатации участка пути следования по маршруту в результате ремонтных работ, неисправности рельсового пути или энергообеспечения (для городского электро-транспорта) и т.д.

Классификационная характеристика возмущающих воздействий сред с подразделением по видам, значимости, степени их влияния на качество транспортного обслуживания, выявляемости и устраняемости приведена в табл. 1.1, а их распределение по видам и основным причинам на примере ГПТ г.Москвы в табл. 1.2. [5, с.96].

Т а б л и ц а 1.1

Возмущающие воздействия и их взаимосвязь с нарушениями перевозочного процесса ГПТ

Вид воздействия среды	Возмущающее воздействие (сбой)	Нарушения перевозочного процесса
Внешнее воздействие	Внеплановое увеличение мощности пассажиропотока (проведение массовых мероприятий и т.д.)	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт из-за увеличения продолжительности посадки-высадки пассажиров на остановочных пунктах
	Внеплановое увеличение мощности пассажиропотока (проведение массовых мероприятий)	Превышение допустимого норматива на-полняемости салонов подвижного сос-тава пассажирами

Возмущающие воздействия и их взаимосвязь с нарушениями перевозочного процесса ГПТ

Внешнее воздействие	Ухудшение метеоусловий	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
		Увеличенный интервал движения
	Задержка другими видами транспорта	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
	ДТП (не связанные непосредственно с подвижным составом)	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
Внутреннее воздействие	Ремонтные работы на улично-дорожной сети: - краткосрочные; - долгосрочные с перекрытием движения по маршруту	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт Выход из строя участка пути, задержка подвижного состава, значительное опоздание прибытия на конечную станцию
	Техническая не готовность подвижного состава в депо (парке)	Увеличенный интервал движения подвижного состава на маршруте
	Отсутствие поездных бригад в депо (парке)	Увеличенный интервал движения подвижного состава на маршруте
	Отсутствие резервного подвижного состава в депо (парке)	Увеличенный интервал движения подвижного состава на маршруте
	Отсутствие резервных водительских бригад в депо (парке)	Увеличенный интервал движения подвижного состава на маршруте
	Задержка с подготовкой подвижного состава к выпуску из депо (парка)	Опоздание прибытия подвижного состава после нулевого рейса на конечную станцию
	Задержка с готовностью поездных бригад к выпуску из депо (парка)	Опоздание прибытия подвижного состава после нулевого рейса на конечную станцию
	Неисправность рельсового пути в депо	Опоздание прибытия подвижного состава после нулевого рейса на конечную станцию
	Неисправность контактно-кабельной сети в депо (парке)	Опоздание прибытия подвижного состава после нулевого рейса на конечную станцию
	Нарушение водителем скоростного режима вождения	Опережение прибытия подвижного состава на конечную станцию или контрольный пункт
	Уменьшение водителем продолжительности посадки-высадки	Опережение прибытия подвижного состава на конечную станцию или контрольный пункт
	Излишек времени оборотного рейса на маршруте	Опережение прибытия подвижного состава на конечную станцию или контрольный пункт
	Кратковременная неисправность пути, контактно-кабельной сети, подвижного состава	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт

Возмущающие воздействия и их взаимосвязь с нарушениями перевозочного процесса ГПТ

Внутреннее воздействие	Недостаток времени оборотного рейса	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
	Увеличение водителем продолжительности посадки-высадки	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
	Низкий профессионализм водителя	Опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
	Выбытие с линии подвижного состава по причине технической неисправности	Увеличенный интервал движения по маршруту
	Выбытие с линии подвижного состава по причине ухудшение самочувствия водителя	Увеличенный интервал движения по маршруту
	Сход вагона с рельсового пути (для ГЭТ)	Выход из строя участка пути, задержка подвижного состава трамвая, значительное опоздание прибытия
	Длительная неисправность рельсового пути, контактно-кабельной сети на линии (для ГЭТ)	Выход из строя участка пути, задержка подвижного состава, значительное опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт
	Отключение напряжения на линии (для ГЭТ)	Выход из строя участка пути, задержка подвижного состава, значительное опоздание прибытия на конечную станцию или контрольный пункт

Т а б л и ц а 1.2

Распределение сбоев по видам ГПТ и основным причинам, % (данные по г. Москва)

Причина отказа	Вид ГПТ		
	автобус	троллейбус	трамвай
Неисправность подвижного состава	16	5	16
Сход вагона с рельсов	-	-	4
Блокирование проезда другими транспортными средствами	29	19	27
Неисправность пути сообщения: -повреждение дорожного полотна	34	13	-
Неисправность пути сообщения: - неисправность рельсового полотна трамвая	-	-	10
Неисправность контактно-кабельной сети и силовых подстанций (для ГЭТ)	-	48	31
Дорожно-транспортное происшествие	4	3	3
Перекрытие движения по причине проведения массового мероприятия	16	10	8
Прочие причины	1	2	1
Итого	100	100	100

Из табл.1.2 следует, что доминирующей причиной сбоев движения ГПТ является задержка другими транспортными средствами (в среднем 25%), вызванная заторами движения транспортных средств.

Эта причина присуща не только г. Москве, но и другим мегаполисам, а также крупным городам РФ, только в несколько меньшей степени.

Под влиянием возмущающих воздействий среды происходит переход перевозочного процесса по нарушенной траектории из допустимой области в область возможного, но не допустимого состояния, то есть происходит его нарушение. В этом случае система оперативного управления перевозочным процессом ГПТ реагирует на возникшую сбойную ситуацию путем принятия и реализации управляющих воздействий по восстановлению нарушенного перевозочного процесса.

Под их воздействием происходит переход в область промежуточного состояния перевозочного процесса – переходной режим, характеризуемый движением к установившемуся. Фазовые траектории перехода представлены на рис. 1.11.

При этом координаты перевозочного процесса, описывающие промежуточное состояние, стремятся к координатам установившейся области, т.е. $X^c(t) \rightarrow X^d(t)$, где $X^c(t)$ и $X^d(t)$ – координаты области возможного и допустимого состояния.

Траектория движения состояний перевозочного процесса общественного ГПТ для вышеуказанной ситуации приведена на рис.1.12.

Как показывают проводимые наблюдения, пассажирами непосредственно на передвижение в среднем затрачивается 35-40% времени, на ожидание транспортных средств – 15-25% и на подход к остановочным пунктам и от них к месту назначения – 35-50% [6, с.73].

Однако при возникновении сбоев перевозочного процесса, т. е. нарушения его надежности, доминирующим в вышеприведенных затратах времени пассажиров на передвижение становятся продолжительность ожидания прибытия подвижного состава ГПТ и непосредственное время поездки.



Рис. 1.11. Траектории и области состояний перевозочного процесса ГПТ



Рис.1.12. Траектория движений состояний перевозочного процесса ГПТ

Восстановление перевозочного процесса требует принятия оперативных мер воздействия. Методы и приемы восстановления перевозочного процесса, используемые диспетчерским персоналом, определяют траекторию и продолжительность (t_n) возвращения точки «А» из области возможных состояний в первоначальное положение, т. е. область допустимых состояний.

При этом координаты перевозочного процесса, описывающие промежуточное состояние, стремятся к координатам установившейся области.

Однако эффективность управляющих воздействий во многом определяется исходными данными, полученными в результате оперативного анализа сбоев при выпуске и движении подвижного состава на линии.

Проведение анализа требует сбор и обработку значительного объема статистического материала, позволяющего на основе закона больших чисел выявить причины сбоев, установить закономерности их возникновения и определить время устранения.

Знание причин определяет качественную характеристику управляющего воздействия, а времени устранения – принятия диспетчерским персоналом более обоснованного решения по восстановлению перевозочного процесса.

Исходя из поставленной задачи, анализ должен проводиться по следующим разрезам:

- вид городского пассажирского транспорта (автомобильный транспорт, городской электротранспорт);
- этап перевозочного процесса (выпуск, движение на линии);
- причины, вызвавшие нарушения;
- временной период эксплуатации (месяц года, время суток);
- продолжительность устранения сбоев перевозочного процесса.

В практике оперативного управления и в некоторых литературных источниках по проблемам организации движения сбоев и нарушения перевозочного процесса порой рассматривается как одно и то же. Однако это утверждение противоречит причинно-следственной связи, возникающей при дестабилизации перевозочного процесса средой функционирования. Следствием возникновения сбоев являются нарушения перевозочного процесса.

Наиболее характерными нарушениями из-за воздействия среды являются опоздание прибытия на конечную станцию или промежуточный контрольный пункт (результат воздействия внешней и внутренней среды) и увеличенный интервал, вызванные выбытием ПС (влиянием в основном внутренней среды). Так, при воздействии на перевозочный процесс внешней среды 77% приходится на опоздание прибытия ПС, а внутренней – 55%.

Необходимо особо подчеркнуть, что отмеченные выше нарушения являются принципиально неизбежными, поскольку всегда существует вероятность

возникновения сбоев, обусловленных неожиданной неисправностью подвижного состава, пути, контактно-кабельной сети, ДТП и т.д.

Поэтому можно говорить только о планомерном снижении случаев нарушений, но не о полном их исключении.

Ввиду этого совершенствование процесса принятия управляющих решений является не временной, вынужденной мерой, а прогрессивным плановым мероприятием, опирающимся на теоретические положения фундаментальной и прикладной транспортной науки, рассматривающей перевозочный процесс как стохастический, подчиняющийся вероятностным законам.

Продолжительность сбоя выпуска или движения на линии подвижного состава ГПТ, и особенно ПС ГЭТ в связи с его ограниченной маневренностью по сравнению с автобусом (особенно трамвай), играет важную роль в выборе оперативного воздействия на перевозочный процесс с целью его восстановления.

Так, знание диспетчером депо (парка) средней продолжительности опоздания при выпуске по причинам позволяет принять решение о его полной или частичной ликвидации в течение «нулевого» рейса, с последующим окончательным устранением (при необходимости) диспетчером конечной станции или смена номера выхода и т.д.

Наличие информации о продолжительности устранения сбоя позволяет маршрутному диспетчеру принять более обоснованное решение по восстановлению движения подвижного состава на линии.

Проведенные автором исследования показывают, что в большинстве транспортных предприятий ГПТ такой анализ не проводится, диспетчер по выпуску или движению не обладает информацией о возможном времени устранения сбоя и соответственно принимает решения, основанные только на интуиции и опыте.

Исходя из чего, возникает необходимость в целях совершенствования оперативного управления перевозочным процессом исследования этой проблемы, которое предлагается ниже.

1.4. Факторы снижения надежности перевозочного процесса

Опыт эксплуатации городского общественного пассажирского транспорта показывает, что на качество транспортного обслуживания населения города, технико-экономические показатели работы пассажирского транспортного предприятия большое влияние оказывает уровень надежности перевозочного процесса.

Как показывает вышеприведенное автором исследование, на уровень надежности перевозочного процесса ГПТ оказывают влияние количество сбоев выпуска и движения ПС на линии; продолжительность между сбоями; время до сбоя; продолжительность восстановления выпуска (движения) в течение определенного периода времени $[0, t]$.

Важнейшей задачей повышения надежности перевозочного процесса является снижение количества сбоев при выпуске и движении на линии и продолжительности их устранения. Ее решение видится в определении факторов, обуславливающих возникновение сбоев применительно для конкретного транспортного предприятия и реальных условий.

Измерения совместного влияния факторов на количество сбоев перевозочного процесса обуславливает необходимость построения модели множественной корреляции, в которой зависимая переменная Q (количество сбоев) рассматривается как функция независимых переменных x (факторов) [10, с.20].

Зависимость влияния факторов на количество сбоев можно выразить через функцию $Q(X)$, обозначив случайные факторы через переменные $x_1, x_2, x_3 \dots x_{23}$.

Если допустить, что связь между X и Q линейна, то уравнение линейной регрессии примет вид:

$$Q(X) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{23}x_{23}.$$

Приведенное уравнение связывает среднее значение функции $Q(X)$ со случайными распределениями, построенными для каждого из факторов.

Коэффициенты регрессии a_1, a_2, \dots, a_{23} рассматриваются как весовые

коэффициенты, определяющие вклад каждого фактора в среднее значение показателя – количества сбоев перевозочного процесса [16, с.66].

Основными эксплуатационными характеристиками маршрута являются частота движения и протяженность следования по нему подвижного состава ГПТ. Между количеством сбоев и значениями этих характеристик существует взаимосвязь. Чем больше частота движения по маршруту подвижного состава и его протяженность, тем больше вероятность того, что в течение продолжительности одного оборотного рейса возникнет сбой перевозочного процесса.

Для подтверждения выдвинутого предположения использован корреляционный анализ, позволяющий на основе оценок параметров нормальной двумерной совокупности получить оценку тесноты связи между количеством сбоев, частотой движения подвижного состава и протяженностью маршрута следования.

Результаты расчета на примере городского электротранспорта (данные МП «Нижегородэлектротранс») коэффициентов корреляции и параметров уравнений приведены в табл.1.3.

Корреляционный анализ подтверждает предположение о тесной зависимости количества возникающих сбоев от частоты движения и длины маршрута следования.

Коэффициент корреляции 0,88 и 0,72 по трамваю и соответственно 0,86 и 0,67 по троллейбусу указывает на прямо пропорциональную зависимость сбоев от частоты движения и длины маршрута, выраженную соответственно уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned} \text{- по трамваю:} \quad Q_{\text{ч}} &= 13,9n - 63,05 \\ Q_{\text{пр}} &= 10,3L + 19,95 \\ \text{- по троллейбусу:} \quad Q_{\text{ч}} &= 16,1n - 16,0 \\ Q_{\text{пр}} &= 11,7L + 5,0, \end{aligned}$$

где n – частота движения подвижного состава по маршруту, ед/час;

L – длина маршрута, км.

Показатели корреляционной зависимости количества отклонений от частоты движения подвижного состава и протяженности маршрута

Наименование показателей	Вид городского электротранспорта			
	трамвай		троллейбус	
	частота движения по маршруту	протяженность маршрута	частота движения по маршруту	протяженность маршрута
Математическое ожидание: -количество отклонений движения; -частота отклонений	208,0 19,5	210,5 18,5	19,5 15,0	220,01 8,3
Дисперсия: -количество отклонений движения; -частота движения	88,4 5,6	95,5 6,7	105,0 5,6	105, 6,0
Коэффициент корреляции	0,88	0,72	0,86	0,67

Задавая значения частоты и протяженности пути следования подвижного состава, с помощью соответствующих уравнений регрессии можно рассчитать потенциальное количество сбоев, которое может возникнуть на маршруте.

Из корреляционного анализа следует, что перевозочный процесс на маршрутах с протяженностью 10 км и более, частотой движения подвижного состава по ним, превышающей 10 единиц в час, всегда подвержен воздействию значительного количества сбоев.

Состав дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на надежность перевозочного процесса городского общественного пассажирского транспорта, приведен на рис. 1.13. Структура факторов влияния обусловлена воздействием на перевозочный процесс внешней и внутренней среды функционирования ГПТ. Устранение негативного влияния факторов воздействия внешней среды в большей части по объективным причинам (метеоусловия и т.д.) транспортным предприятием ГПТ, в отличие от воздействий внутренней среды, практически не возможно.

Поскольку количество и продолжительность сбоев, вызванных, в частности, техническими отказами по причине конструктивной ненадежности может быть устранено или уменьшено только заводом - производителем технических средств обеспечения перевозочного процесса, «эксплуатационники» не имеют права вносить конструктивные изменения в подвижной состав ГПТ и т.д.



Рис.1.13. Состав основных факторов влияния на надежность перевозочного процесса городского пассажирского транспорта

Под воздействием внешней среды формируются следующие факторы, влияющие на надежность перевозочного процесса:

1. Период года эксплуатации ПС. В осенне-зимний период снижается выпуск из депо (парков) из-за технической неготовности ПС, а также увеличивается количество отказов активных и обеспечивающих СОУП ГПТ элементов, обусловленных низкими температурами.

2. Метеоусловия. В связи с ухудшением метеоусловий (обильный снегопад, ливневые осадки, туман и т.д.) и снижением видимости уменьшаются скорости движения ПС, увеличивается количество сбоев (ДТП, заторы и т.п.).

3. Высокая степень автомобилизации города при низком уровне развития улично-дорожной сети приводит к резкому повышению интенсивности и плотности транспортного потока. В свою очередь высокая интенсивность движения транспортных средств обуславливает следование подвижного состава автобуса, троллейбуса и трамвая (на совмещенном полотне) в насыщенном потоке, что особенно характерно в настоящее время для крупных городов РФ. Следствием этого является снижение скорости, заторы, возможные ДТП между участниками движения, что способствует опозданию прибытия на контрольный пункт или конечную станцию.

4. Внеплановые или с нарушением временного периода (предоставляемого временного «окна») строительные-ремонтные работы, выполняемые на улично-дорожной сети города сторонними организациями, приводят к задержкам подвижного состава.

5. Жесткая система принудительного регулирования движением. Высокая интенсивность транспортных потоков на основных направлениях, особенно на улицах с двухполосным движением, способствует возникновению задержек у перекрестков, обусловленных светофорной сигнализацией, отсутствием приоритетности движения общественного транспорта. Движение транспортных потоков с высокой интенсивностью через регулируемые перекрестки не исключает возможности конфликтных ситуаций, которые могут привести к ДТП и, соответственно, к нарушению перевозочного процесса.

При движении подвижного состава ГПТ в смешанном транспортном потоке и необходимости осуществления автотранспортом левоповоротного движения при отсутствии светофорного регулирования или секции, разрешающей поворот налево на перекрестке возникает ситуация ожидания окончания выполнения маневра автомобилями, что приводит к задержкам движения ПС.

Факторы возникновения сбоев перевозочного процесса, обусловленные воздействием внутренней среды, разделяются на три группы: конструктивные; производственные; эксплуатационные.

Конструктивные факторы обуславливают возникновение сбоев по причине конструктивной ненадежности подвижного состава ГПТ, контактно-кабельной сети, рельсового пути (для ГЭТ). Конструктивные факторы устраняются по претензиям транспортных предприятий заводом-производителем.

Производственные факторы состояния оценивают уровень технического обслуживания и ремонта подвижного состава, элементов обеспечивающих подсистем (рельсового пути, сетей энергообеспечения и т.д.), технологического оборудования депо (парков), а также состояние с обеспеченностью технической подготовки перевозочного процесса.

К ним относятся:

1. Низкий уровень хранения, технического обслуживания и ремонта подвижного состава ГПТ. Оказывает влияние на количество сбоев перевозочного процесса, обусловленных технической неисправностью подвижного состава ГПТ, приводящих к недовыпуску и сходам с линии. Со снижением уровня увеличивается число неисправностей, внезапных и параметрических отказов агрегатов, узлов подвижного состава, т.е. потеря ими работоспособности.

Система технического обслуживания и ремонта включает мероприятия по повышению безотказности и долговечности работы подвижного состава в процессе их эксплуатации — организацию и проведение планово-предупредительного обслуживания и ремонта.

Низкий уровень ремонтов и текущего содержания приводит к выбытию с линии подвижного состава по причине технической неисправности, а значит, к

увеличенным интервалам движения. Хорошо организованная система профилактических работ предусматривает внедрение эффективных методов прогнозирования отказов и, соответственно, снижение количества сбоев.

2. Низкий уровень технического обслуживания и ремонта контактно-кабельной сети (для ГЭТ). Низкий уровень технического обслуживания оборудования тяговых подстанций приводит к вынужденным и аварийным режимам работы, требующим оперативного переключения агрегатов и линий, а также передачи нагрузки на соседние подстанции, что в свою очередь вызывает нарушение энергоснабжения в контактной сети трамвая или троллейбуса и прекращение движения по маршруту.

В свою очередь низкое качество профилактического ремонта контактно-кабельной сети городского электротранспорта, подвергаемой длительным воздействием постоянных и временных нагрузок, приводит к обрывам контактного провода, неисправностям подвесной арматуры, повреждению питающих и отсасывающих фидеров и т.д., обуславливающих прекращение движения ПС ГЭТ на определенных участках маршрута.

3. Низкий уровень технического обслуживания и ремонта рельсового пути трамвая (для ГЭТ). Низкий уровень приводит к превышению допусковых норм, снижению безопасности перевозок и соответственно к сбоям, устранение которых характеризуется значительной продолжительностью, что в свою очередь ухудшает качество транспортного обслуживания населения.

4. Низкий уровень технического обслуживания и ремонта технологического оборудования депо (парков), службы пути и энергохозяйства (для ГЭТ) приводит к увеличению непроизводительных простоев, вызванных отказами станочного парка, продолжительности устранения неисправностей, снижению загрузки, производительности и качества выполняемых работ, и как следствие — ухудшению технического обслуживания и ремонта ПС ГЭТ, рельсового пути, контактно-кабельной сети (для ГЭТ).

5. Низкий уровень оснащенности инструментальными средствами диагностирования и контролепригодности, запчастями, комплектующими депо и пар-

ков. Наличие и разнообразие инструментальных средств диагностики, контролепригодности узлов и агрегатов подвижного состава ГПТ, рельсового пути и контактно-кабельной сети (для ГЭТ) снижает уровень визуального контроля, обеспечивая тем самым выявление «скрытых» неисправностей и их устранение в процессе технического осмотра и профилактического ремонта.

Своевременное и в требуемом объеме обеспечение запчастями, комплектующими позволяет, прежде всего, при текущем содержании обеспечивать выполнение комплекса профилактических ремонтных работ и проводить безотлагательные путевые работы по аварийному устранению дефектов, препятствующих выпуску и движению ПС ГПТ.

6. Низкий уровень квалификации обслуживающего персонала депо и парков задействованного на ремонтах. Оказывает влияние как на качество обслуживания ПС ГПТ, контактно-кабельной сети (для ГЭТ), рельсового пути трамвая, так и на процесс восстановления их ремонтнопригодности после отказов.

Персонал, знающий оборудование и обладающий достаточным минимумом практических навыков, значительно быстрее обнаруживает и устраняет отказы, возникающие в процессе работы или при профилактической проверке, сокращая тем самым время устранения сбоя при выпуске или движении ПС городского пассажирского транспорта.

Влияние недостаточной квалификации уменьшается при автоматизации контроля параметров и процесса поиска отказов, то есть диагностики.

7. Отсутствие или низкий уровень системы сбора и обработки статистических данных об отказах в депо и парках.

Система сбора и обработки данных позволяет определить типовые причины отказов, оценить качество ремонта подвижного состава, контактно-кабельной сети, рельсового пути, определить наиболее вероятное время устранения неисправности.

8. Низкий уровень выполнения требований правил технической эксплуатации (ПТЭ) автобуса, трамвая, троллейбуса и нормативных документов. Несоблюдение обслуживающим персоналом ПТЭ и нормативных документов по их

незнанию или небрежности влечет за собой различные неисправности, а соответственно и сбои. По зарубежным данным, до 30% отказов оборудования происходит по вине лиц, его эксплуатирующих.

Эксплуатационные факторы оценивают уровень влияния условий, в которых осуществляются пассажирские внутригородские перевозки населения. Они включают:

1. Степень сложности трассы маршрута. Предполагает наличие уклонов, значительного количества кривых малого радиуса, стрелочных переводов для трамвая и воздушных стрелок для троллейбуса, пересечений контактной сети, что приводит к необходимости снижения скорости движения, а при ее нарушении водителями автобуса – к не вписыванию в кривую, городского электро-транспорта, –к сходам вагона с рельсового пути или неправильному переводу стрелок (разрез), сходу штанг троллейбуса с контактного провода и т.д.

Ограниченная ширина проезжей части для нерельсовых видов наземного транспорта приводит к снижению скорости движения, потенциальной возможности возникновения заторов и ДТП.

2. Уровень состояния пути следования. Низкий уровень состояния пути является предпосылкой возникновения сбоев. Плохое состояние дорожного полотна (для автобуса и троллейбуса), рельсового пути трамвая в зимний период эксплуатации способствует снижению скорости следования и, как следствие, увеличению времени ожидания пассажирами прибытия ПС, возникновению ДТП, задержек движения подвижного состава ГПТ другими видами транспорта, особенно трамвая (вследствие буксовки автотранспортных средств на совмещенных с дорогой трамвайных путях).

3. Низкий уровень квалификация водительского состава. Низкий уровень квалификации водительского состава ГПТ приводит к нарушению режима движения по маршруту и соответственно к опозданию прибытия на конечную станцию или промежуточный контрольный пункт, а также к не эффективной реализации оперативных решений, увеличивающей продолжительность восстановления перевозочного процесса и тем самым снижая значения единичных

показателей оценки надежности.

4. Низкий уровень организации труда водительского состава отражается в неравномерной нагрузке водительского состава, повышении их усталости, формируя предпосылки возникновения сбоев движения на линии.

5. Низкий уровень планирования работы ПС (маршрутизация перевозок и графики выпуска и (или) движения ПС) отражается в нерациональном формировании маршрутов, определении требуемого для выпуска количества ПС ГПТ, времени оборотного рейса, планового отстоя водителей на конечной станции и т.д., создавая тем самым условия для возникновения сбоев.

6. Низкий уровень диспетчерского управления выпуском (движением) подвижного состава ГПТ характеризуется не оперативностью в принятии решений по ликвидации сбоев и некорректностью управляющих мер воздействия по восстановлению нарушенного перевозочного процесса, что приводит в свою очередь к увеличению продолжительности восстановления, снижая тем самым уровень надежности.

Помимо основных факторов, влияющих на возникновение сбоев, имеется еще ряд дополнительных: пересечение в одном уровне маршрутов ГПТ с железнодорожными путями предприятий, расположенных в черте города; проведение длительных ремонтно-строительных работ на путях следования по маршруту и т.д.

Надежность перевозочного процесса напрямую связана с удовлетворением потребностей населения в транспортном обслуживании.

Поэтому в качестве вариации оптимизации надежности может быть применен процесс раскомплектовки. Если в многоступенчатой системе с загруженными резервными элементами выходит из строя элемент одной ступени, то общая надежность становится хуже.

С помощью изъятия еще работоспособного элемента в другой ступени и применения его на ставшем только что свободном месте при известных обстоятельствах может быть улучшена общая надежность [9, с.119]. Например, переключение подвижного состава с одного маршрута на другой, где возникает

транспортная ситуация, обусловленная выбытием ПС из движения.

Исходя из изложенного необходимо:

- наличие в депо (парка) требуемого количества резервного ПС ГПТ;
- возможность переключения энергопитания на другую тяговую подстанцию и запараллеливания участков контактной сети (для ГЭТ);
- развитие сети рельсового пути (наличие трамвайных узлов), контактной сети (для ГЭТ).

Меры, направленные на обеспечение стабильности перевозочного процесса за счет повышения его надежности, одновременно служат средством улучшения качества транспортной услуги, предоставляемой городским пассажирским транспортом населению города.

1.5. Математическая постановка задачи оценки надежности перевозочного процесса

Важнейшим условием высококачественного транспортного обслуживания пассажиров ГПТ является обеспечение высокой надежности перевозочного процесса.

Для массового пассажирского транспорта основными являются маршрутный принцип и принцип работы по расписанию.

Поэтому под надежностью перевозочного процесса ГПТ понимаются вероятность осуществления перевозок в соответствии с установленным расписанием движения на маршрутах.

Основу надежности перевозочного процесса составляет выполнение подвижным составом ГПТ с соответствующей регулярностью заданного количества рейсов на каждом маршруте [16, с.98].

В суточном периоде транспортного обслуживания населения перевозочный процесс занимает длительное время, представляющее собой суммарную продолжительность выпуска из депо (парка) и движения подвижного состава на линии.

Однако, как показывают проведенные автором исследования, в течение этого периода неравномерно возникают сбои, нарушающие динамическое равновесие (выполнение рейсов в соответствии с маршрутным расписанием), что обуславливает функционирование объекта управления в системе ОУП ГПТ по принципу перерывов [9, с.112]. Возникновение сбоев требует незамедлительной реакции СОУП ГПТ.

Исходя из чего появляется настоятельная необходимость изучения временной последовательности или частоты возникновения сбоев и продолжительности действия СОУП ГПТ в качестве времени восстановления перевозочного процесса, т. е. надежности перевозочного процесса.

При этом следует отметить, что степень надежности перевозочного процесса во многом определяет уровень качества транспортного обслуживания населения города. Чем меньше частота сбоев и продолжительность восстановления перевозочного процесса, тем выше качество транспортной услуги и соответственно оценка населением работы городского пассажирского транспорта.

Под надежностью перевозочного процесса некоторые специалисты понимают обеспечение транспортного обслуживания населения на определенном интервале времени, поддерживая при этом значения установленных регламентирующими документами (маршрутным расписанием, нарядом и т.д.) характеристик в заданных границах при соответствующих условиях эксплуатации подвижного состава и перевозки пассажиров [5, с.9].

Приведенное выше определение надежности является весьма общим, чтобы служить рабочей моделью для данного исследования, и требует определенной детализации.

Поэтому в целях решения проблемы целесообразно структурировать оценку надежности по этапам перевозочного процесса (выпуск, движение на линии), а затем по перевозочному процессу в целом (см. рис. 1.14).

Надежность перевозочного процесса измеряется вероятностью свободной от сбоев выпуска и движения в период от начала выпуска подвижного состава ГПТ до его захода в депо (парк) – t [9, с.113].

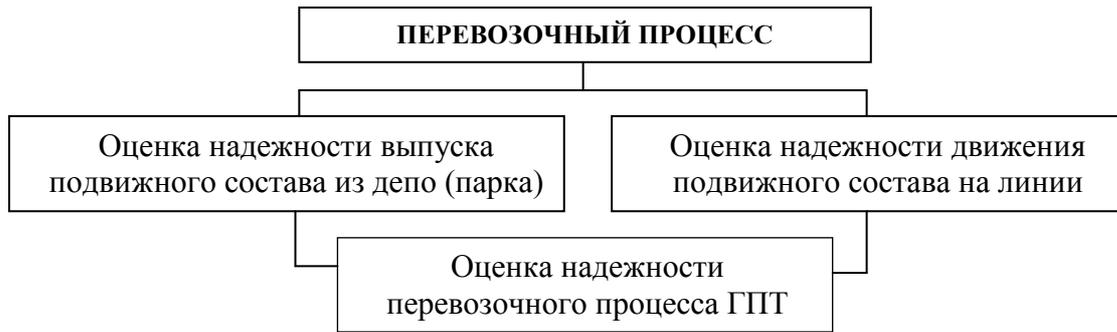


Рис.1.14. Укрупненная схема оценки надежности перевозочного процесса ГПТ

При разработке математической модели структуры перевозочного процесса критерий сбоя определяется через состояние обеспечивающих его элементов.

В этом случае каждый из обеспечивающих элементов предполагается простейшим, т.е. считается, что он может находиться лишь в двух состояниях: работоспособности (обеспечение пассажирских перевозок) и отказа (прекращение предоставления пассажирам транспортной услуги из-за невозможности реализации процесса перевозок). Исходя из чего, состояние перевозочного процесса определяется совокупностью состояний обеспечивающих его элементов, т.е. критерий сбоя позволяет все множество состояний обеспечивающих элементов разделить на два подмножества:

- первое характеризуется состоянием динамического равновесия перевозочного процесса (работоспособности всех элементов, обеспечивающих перевозки);

- второе - состоянием нарушения динамического равновесия перевозочного процесса (отказа каких-либо обеспечивающих элементов) в момент времени t .

Формальное описание структуры перевозочного процесса осуществляется с использованием индикаторных функций:

$$x_i(t) \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-й элемент, обеспечивающий перевозочный процесс в момент времени } t, \text{ работоспособен;} \\ 0, \text{ если } i\text{-й элемент, обеспечивающий перевозочный процесс в момент времени } t, \text{ находится в состоянии отказа.} \end{cases}$$

Состояние перевозочного процесса, состоящее из n обеспечивающих элементов, характеризуется n -мерным вектором $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Исходя из чего множество состояний перевозочного процесса состоит из 2^n состояний, которое может быть разбито на два подмножества, соответствующих состояниям работоспособности и сбою перевозочного процесса в целом.

Это соответствует тому, что на множестве $\{X\}$ задается булева функция, которая является структурной функцией:

$$X \begin{cases} 1, \text{ если состояние } X \text{ согласно выбранного критерия соответствует} \\ \text{нормальному ходу перевозочного процесса;} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Свойства булевой функции заключаются в том, что если $X = 1$, т.е. все $x_i = 1$, то $\Phi(1) = 1$, если $X = 0$, т.е. все $x_i = 0$, то $\Phi(0) = 0$.

Указанное свойство свидетельствует о том, что если все обеспечивающие элементы перевозочного процесса работоспособны, то и перевозочный процесс находится в нормальном состоянии [12, с.9].

Оценка надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта требует разработки системы показателей и методологического подхода к реализации процесса оценки.

1.6. Система показателей надежности перевозочного процесса

С позиций теории надежности перевозочному процессу ГПТ присущи определенные свойства: безотказность выпуска и движения подвижного состава; восстанавливаемость перевозочного процесса.

Безотказность перевозочного процесса заключается в непрерывном сохранении состояния его динамического равновесия в течение некоторого периода времени или некоторой наработки, предусмотренного маршрутным расписанием, то есть осуществление выпуска и движения подвижного состава без сбоев.

Она отражает уровень технического состояния парка ПС транспортного

предприятия, средств обеспечения перевозочного процесса (рельсового пути, контактно-кабельной сети и т.д.), системы подготовки к выпуску и эксплуатации на линии.

Восстанавливаемость – способность восстановления выпуска или движения подвижного состава ГПТ за определенный промежуток времени ($t_{\text{в}}$), предполагаемый в зависимости от вида сбоя, места его возникновения и т.д. в определенном диапазоне, т.е. $t_{\text{в}(\min)} \leq t_{\text{в}} \leq t_{\text{в}(\max)}$.

Границы диапазона, то есть $t_{\text{в}(\min)}$ и $t_{\text{в}(\max)}$ определяются на основании результатов расчета статистической информации о сбоях выпуска и движения по транспортному предприятию.

Восстанавливаемость отражает уровень профессионализма диспетчерского персонала, технического состава депо (парка), водительского состава, работников аварийно-восстановительных служб транспортного предприятия и т.д.

Она может быть использована для оценки практической деятельности персонала, задействованного в реализации перевозочного процесса.

Каждое из указанных выше свойств должно получать оценку через показатели, образующие в совокупности систему оценки надежности перевозочного процесса.

Иерархическая структура системы показателей надежности перевозочного процесса ГПТ приведена на рис.1.15.

В основу системы положены единичные, комплексные, интегральные, групповые и обобщающие показатели надежности перевозочного процесса.

Сущность каждого из единичных показателей заключается в определении средней продолжительности наработки между сбоями выпуска и движения (математическое ожидание) на i -м маршруте; среднего времени восстановления выпуска и движения (математическое ожидание времени восстановления выпуска и движения), нарушенного сбоем на i -м маршруте в течение периода времени $[0, t]$.



Рис.1.15. Иерархическая структура системы показателей надежности перевозочного процесса ГПТ

Период времени $[0, t]$ представляет собой интервал времени, заданный маршрутным расписанием:

- при выпуске $[0, t_в]$ – период времени от начала выпуска подвижного состава из депо (парка) на i -й маршрут (0) до его завершения ($t_в$);
- при движении на линии $[0, t_д]$ – период времени от начала открытия движения подвижного состава по i -му маршруту (0) до его окончания ($t_д$).

Исходными данными для расчета единичных показателей являются:

- количество сбоев выпуска и движения; продолжительность между сбоями выпуска и движения;
- продолжительность до сбоя выпуска и движения;

- время восстановления выпуска и движения, нарушенного сбоем.

Следует отметить, что в настоящий период времени в транспортных хозяйствах страны не проводится учет первичных данных для оценки надежности и соответственно отсутствует информационная база для проведения уровневых (маршрут, депо или парк, транспортное предприятие) оценок надежности перевозочного процесса. В перспективе должны быть разработаны инструктивные документы по регламентации сбора и обработки первичных данных, которые должны найти применение во всех транспортных предприятиях ГПТ страны, что позволит осуществить оценку надежности перевозочного процесса.

Коэффициент безотказности выпуска на маршрут представляет собой вероятность безотказности выпуска подвижного состава из депо (парка) на маршрут.

Математическим законом безотказности перевозочного процесса в простейшем случае является экспоненциальное распределение, соответствующее постоянной интенсивности сбоев [10, с.116]

$$P_0(t) = e^{-t/\bar{t}},$$

где t – продолжительность выпуска подвижного состава на i -й маршрут (движения по i -му маршруту) в течение эксплуатационных суток работы ГПТ, час;

\bar{t} – средняя наработка между сбоями выпуска подвижного состава на i -й маршрут или движение по i -му маршруту (математическое ожидание).

Аналогично вышеприведенному описанию, коэффициентом восстанавливаемости выпуска на маршрут, согласно математическим законам восстанавливаемости перевозочного процесса, является следующее выражение:

$$P_B(t) = e^{-t/\bar{t}},$$

где t – продолжительность выпуска на i -й маршрут (движения по i -му маршруту) в течение эксплуатационных суток работы ГПТ, час;

\bar{t} – среднее время восстановления выпуска на i -м маршруте (математическое ожидание времени восстановления выпуска) или движения (математическое ожидание восстановления движения), нарушенного сбоем на i -м маршруте.

Комплексный показатель надежности выпуска подвижного состава на i -й маршрут (K_B) представляет собой объединение параметров оценки безотказности и восстанавливаемости выпуска с помощью весовых коэффициентов, определенных экспертным путем специалистами отдела эксплуатации депо (парка) транспортного предприятия.

Расчет показателя надежности выпуска за отчетный период осуществляется по всем маршрутам депо (парка).

Комплексный показатель надежности движения по i -му маршруту (K_D) представляет собой показатель, характеризующий безотказность и восстанавливаемость функционирования подвижного состава ГПТ непосредственно на линии. Он определяется аналогично коэффициенту K_B , но уже с учетом безотказности и восстанавливаемости движения на линии.

Расчет показателя надежности движения за отчетный период осуществляется по всем маршрутам депо (парка) транспортного предприятия.

Интегральный показатель надежности выпуска и движения (K_U) по i -му маршруту определяется с помощью коэффициентов надежности выпуска K_B и движения K_D .

Расчет коэффициента K_U осуществляется за отчетный период по каждому i -му маршруту.

Групповой показатель надежности представляет собой коэффициент надежности (K_G) перевозочного процесса по всем в совокупности i -м маршрутам, обслуживаемых данным депо или парком. Расчет коэффициента K_G осуществляется за отчетный период по каждому j -му депо (парку).

В качестве обобщенного показателя используется показатель (K_O), определяющий надежности перевозочного процесса за отчетный период в целом по транспортному предприятию, то есть в целом по всем депо (паркам), входящим в его состав.

Для расчета показателей комплексной, интегральной, групповой и обобщенной оценки надежности используются параметры весомости, которые могут

быть определены методом стоимостных регрессионных зависимостей, предельных и номинальных значений, эквивалентных соотношений, экспертных оценок [2, с.20,21].

Наиболее доступным для транспортных предприятий является экспертный метод, предусматривающий определение среднего арифметического значения параметров i -го показателя надежности с последующим определением нормированного значения коэффициента весомости.

Определение значений показателей надежности перевозочного процесса ГПТ осуществляется с применением расчетного метода. Оценочные показатели надежности перевозочного процесса и их расчетные формулы приведены в табл.1.4.

Т а б л и ц а 1.4.
Показатели оценки надежности перевозочного процесса ГПТ

Этап перевозочного процесса	Свойство перевозочного процесса	Вид показателя	Показатель	Расчетная формула
Выпуск из депо (парка)	Безотказность выпуска на маршрут	Единичный	Средняя наработка между сбоями выпуска ПС на маршрут (математическое ожидание)	$\bar{t}_{\text{НВЛ}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{НВЛ}j}}{n}$
	Безотказность выпуска на маршрут	Единичный	Коэффициент безотказности выпуска на маршрут (вероятность безотказности выпуска ПС из депо (парка))	$K_{\text{без.в}} = P_{\text{бВЛ}}(t) = e^{-t/\bar{t}_{\text{НВЛ}}}$
	Безотказность выпуска на маршрут	Единичный	Среднее время восстановления выпуска (математическое ожидание времени восстановления выпуска) нарушенного сбоя на маршруте	$\bar{t}_{\text{ВВЛ}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{ВВЛ}j}}{n}$
	Восстанавливаемость выпуска ПС на маршруте	Единичный	Коэффициент восстанавливаемости выпуска на маршрут (вероятность восстанавливаемости выпуска ПС из депо (парка) на маршрут)	$K_{\text{вос.в}} = P_{\text{ВЛ}}(t) = e^{-t/\bar{t}_{\text{ВВЛ}}}$
	Безотказность и восстанавливаемость выпуска на маршрут в целом	Комплексный	Комплексный коэффициент надежности выпуска на маршрут	$K_{\text{в}} = aK_{\text{без.в}} \cdot a_{\text{вос.в}} \cdot K_{\text{вос.в}}$
Движение на линии	Безотказность движения ПС по маршруту	Единичный	Средняя наработка между сбоями движения (математическое ожидание наработки) по маршруту	$\bar{t}_{\text{НДЛ}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{НДЛ}j}}{n}$

Показатели оценки надежности перевозочного процесса ГПТ

Движение на линии	Безотказность движения ПС по маршруту	Единичный	Коэффициент безотказности движения на маршруте (вероятность безотказности движения по маршруту)	$K = P_{\text{оди}}(t) = e^{-t_d / \overline{t_{\text{нд}}}}$
	Восстанавливаемость движения ПС на маршруте	Единичный	Среднее время восстановления движения (математическое ожидание времени восстановления движения) нарушенного сбоям по маршруту	$\overline{t_{\text{вд}i}} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{\text{вд}ij}}{n}$
		Единичный	Коэффициент восстанавливаемости движения на маршруте (вероятность восстанавливаемости движения по маршруту)	$K_{\text{вос.д}} = P_{\text{вд}i}(t) = e^{-t_d / \overline{t_{\text{вд}i}}}$
	Безотказность и восстанавливаемость движения по маршруту в целом	Комплексный	Комплексный коэффициент надежности движения по маршруту	$K_d = aK_{\text{без.д}} \cdot a_{\text{вос.д}} \cdot K_{\text{вос.д}}$
Перевозочный процесс на маршруте	Надежность перевозочного процесса по маршруту	Интегральный	Интегральный коэффициент надежности перевозочного процесса по маршруту	$K_{\text{и}} = a_{\text{в}}K_{\text{в}} \cdot a_{\text{д}}K_{\text{д}}$
Перевозочный процесс по всем маршрутам депо (парка)	Надежность перевозочного процесса по маршрутам депо (парка) в целом	Групповой	Групповой коэффициент надежности перевозочного процесса по всем маршрутам обслуживаемых депо (парком)	$K_{\text{г}} = \sum_{j=1}^n \delta_j K_{\text{и}}^j$
Перевозочный процесс по транспортному предприятию	Надежность перевозочного процесса в целом по транспортному предприятию	Обобщенный	Обобщенный коэффициент надежности перевозочного процесса в целом по транспортному предприятию	$K_{\text{о}} = \sum_{j=1}^m \delta_j K_{\text{г}}^j$

Обозначения:

$t_{\text{в}}$ – продолжительность выпуска ПС ГПТ из депо (парка) на i -й маршрут;

$\overline{t_{\text{нв}i}}$ – средняя наработка между сбоями выпуска ПС из депо (парка) на i -й маршрут (математическое ожидание) за отчетный период;

$t_{\text{нв}i}$ – наработка между сбоями выпуска ПС из депо (парка) на i -й маршрут за отчетный период;

n – количество случаев наработки между сбоями выпуска из депо (парка) на i -й маршрут за отчетный период;

$P_{\text{оди}}$ – вероятность безотказности выпуска ПС ГПТ из депо(парка) на i -й маршрут;

$\overline{t_{\text{вв}i}}$ – среднее время восстановления выпуска (математическое ожидание времени восстановления выпуска) нарушенного сбоям на i -м маршруте за отчетный период;

$t_{\text{вв}ij}$ – время восстановления выпуска из депо (парка) на i -м маршруте нарушенного j -м сбоям за отчетный период;

n – количество восстановлений сбоям выпуска из депо (парка) на i -й маршрут за отчетный

Показатели оценки надежности перевозочного процесса ГПТ

период;

$P_{vi}(t)$ - вероятность восстанавливаемости выпуска ПС из депо (парка) на i -м маршруте;

$\bar{t}_{ндi}$ - средняя наработка между сбоями движения на i -м маршруте (математическое ожидание) за отчетный период;

$t_{ндi}$ - наработка между сбоями движения на i -м маршруте за отчетный период;

n – количество случаев наработки между сбоями движения на i -й маршруте за отчетный период;

$P_{бди}(t)$ - вероятность безотказности движения ПС ГПТ на i -м маршруте;

$\bar{t}_{вди}$ - среднее время восстановления движения (математическое ожидание времени восстановления выпуска) нарушенного сбоем на i -м маршруте за отчетный период;

$t_{вдиj}$ - время восстановления движения на i -м маршруте нарушенного сбоем за отчетный период;

n – количество восстановлений сбоев движения на i -м маршруте за отчетный период;

$P_{вди}(t)$ - вероятность восстанавливаемости движения ПС ГПТ на i -м маршруте;

$K_{бэз.в}$ – коэффициент безотказности выпуска на i -й маршрут;

$K_{вос.в}$ – коэффициент восстанавливаемости выпуска на i -й маршрут;

K – коэффициент безотказности движения на i -м маршруте;

$K_{вос.д}$ – коэффициент восстанавливаемости движения на i -м маршруте;

$K_{в}$ – комплексный коэффициент надежности выпуска на i -й маршрут;

$a_{бэз.в}$ – весовое значение коэффициента безотказности выпуска на i -й маршрут;

$a_{вос.в}$ – весовое значение коэффициента восстанавливаемости выпуска на i -й маршрут;

$K_{д}$ – комплексный коэффициент надежности движения по i -му маршруту;

$a_{бэз.д}$ – весовое значение коэффициента безотказности движения на i -м маршруте;

$a_{вос.д}$ – весовое значение коэффициента восстанавливаемости движения на i -й маршрут;

$K_{и}$ – интегральный коэффициент надежности перевозочного процесса по i -му маршруту;

$a_{в}$ – коэффициент весомости коэффициента надежности выпуска на i -й маршрут;

$a_{д}$ – коэффициент весомости коэффициента надежности движения на i -м маршруте;

$K_{г}$ – групповой коэффициент надежности перевозочного процесса по j -му депо(парку);

$K_{и}^i$ – комплексный коэффициент надежности перевозочного процесса по i -му маршруту;

δ_i – весовое значение комплексного коэффициента по i -му маршруту определяемого как

$$\delta_i = Q_i / Q_{д(n)};$$

Q_i – количество ПС, выпускаемого за отчетный период на i -й маршрут;

$Q_{д(n)}$ – количество ПС выпускаемого в целом за отчетный период j -м депо (парком);

n – количество маршрутов обслуживаемых депо (парком);

K_0 – обобщенный коэффициент надежности перевозочного процесса по транспортному предприятию;

m – количество депо (парков) в транспортном предприятии;

$K_{г}^j$ – групповой коэффициент надежности по j -му депо(парку);

δ_j – весовое значение группового коэффициента по j -му депо (парку), определяемого как

$$\delta_j = Q_j / Q_{тп};$$

Q_j – количество ПС выпускаемого за отчетный период из j -го депо (парка);

$Q_{тп}$ – количество ПС выпускаемого в целом за отчетный период предприятием

Приведенные показатели надежности перевозочного процесса являются основой для количественной оценки надежности выполнения внутригородских

пассажи́рских перевозок, методологический подход которой изложен ниже.

1.7. Методологический подход к оценке надежности перевозочного процесса

Оценка надежности крайне важна для транспортного предприятия, так как она не только отражает в динамике степень воздействия среды функционирования ГПТ на перевозочный процесс, но и реакцию самой системы ОУП.

Несмотря на настоятельную необходимость в настоящий период в транспортных предприятиях ГПТ оценка надежности перевозочного процесса не проводится в связи с отсутствием не только системы количественных показателей, но и методики их расчета. Поэтому возникает необходимость разработки уровневой системы оценок надежности перевозочного процесса ГПТ.

Укрупненный алгоритм оценки надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта приведен на рис. 1.16.

Оценка надежности перевозочного процесса базируется на использовании комбинированного метода, предусматривающего применение дифференциального и комплексного методов.

Дифференциальный метод предусматривает сопоставление фактических значений единичных показателей оцениваемого и нормативного состояния надежности перевозочного процесса (уровень маршрута).

Наличие функциональной зависимости между единичными показателями надежности выпуска (движения) и комплексным показателем, комплексным и интегральным, интегральным и групповым, групповым и обобщенным позволяет использовать для расчета комплексный метод.

Процесс оценки представляет собой процедуру сравнения фактического значения уровневого показателя надежности с нормативным, выявления расхождения данных значений и установления причин последнего.

На основе оценок надежности по каждому отдельно взятому единичному показателю (дифференциальных оценок надежности) устанавливаются комплекс-

ную оценку надежности выпуска и движения (комплексный метод), интегральную для перевозочного процесса по маршруту, групповую по депо (парку) и обобщенную (по транспортному предприятию), характеризующую совокупную надежность всех учитываемых показателей.

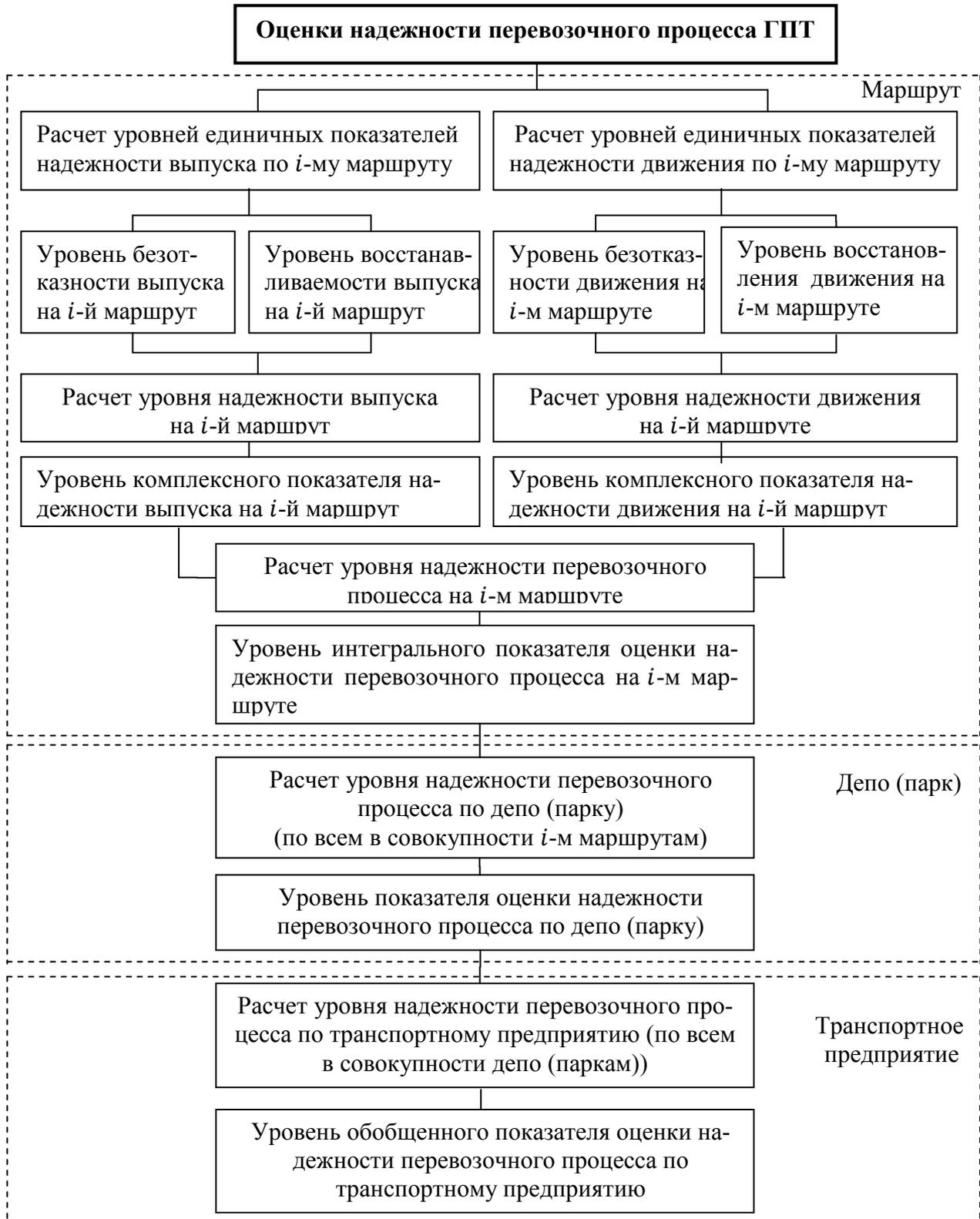


Рис.1.16. Алгоритм оценки надежности перевозочного процесса ГПТ

Сопоставление позволяет определить показатели, значения которых достигли значений показателей нормативного состояния надежности выпуска (движения) по i -му маршруту, депо(парку), транспортному предприятию и отличающихся от них.

Алгоритм оценки надежности перевозочного процесса ГПТ (см. рис.1.16) предусматривает последовательное выполнение следующих операций:

1. Определение уровня единичных показателей надежности выпуска (движения) на i -й маршрут при наличии ограничений в значениях единичных показателей [65, с.16]:

$$Y_{j(\epsilon, \delta)} = \frac{\Pi_{j(\epsilon, \delta)} - \Pi_{j(\epsilon, \delta)np}}{\Pi_{j(\epsilon, \delta)\delta} - \Pi_{j(\epsilon, \delta)np}},$$

где $\Pi_{j(\epsilon, \delta)}$ – значение j - единичного показателя надежности фактического состояния выпуска (движения) i - го маршрута;

$\Pi_{j(\epsilon, \delta)\delta}$ – значение j -го единичного показателя надежности нормативного состояния выпуска (движения) i -го маршрута;

$\Pi_{j(\epsilon, \delta)np}$ – предельное значение j -го единичного показателя надежности выпуска (движения) i -го маршрута.

2. Определение уровня коэффициента безотказности выпуска на i -й маршрут – $K_{\bar{\epsilon}ез.в}$ (движения по i -му маршруту – $K_{\bar{\epsilon}ез.д}$)

$$Y_{\bar{\epsilon}ез.в} = \frac{K_{\bar{\epsilon}ез.в}}{K_{\bar{\epsilon}ез.в(\bar{\sigma})}}, \quad Y_{\bar{\epsilon}ез.д} = \frac{K_{\bar{\epsilon}ез.д}}{K_{\bar{\epsilon}ез.д(\bar{\sigma})}},$$

где $K_{\bar{\epsilon}ез.в}$, ($K_{\bar{\epsilon}ез.д}$) – фактическое значение коэффициента безотказности выпуска (движения) подвижного состава ГПТ;

$K_{\bar{\epsilon}ез.в(\bar{\sigma})}$, $K_{\bar{\epsilon}ез.д(\bar{\sigma})}$ – базовое значение коэффициента безотказности выпуска (движения) подвижного состава ГПТ;

3. Определение уровня коэффициента восстанавливаемости выпуска подвижного состава на i -м маршруте – $K_{вос.в}$ (движения по i -му маршруту – $K_{вос.д}$)

$$Y_{вос.в} = \frac{K_{вос.в}}{K_{вос.в(\bar{\sigma})}}, \quad Y_{вос.д} = \frac{K_{вос.д}}{K_{вос.д(\bar{\sigma})}},$$

где $K_{вос.в}$, $K_{вос.д}$ – фактическое значение коэффициента восстановления выпуска

(движения) подвижного состава ГПТ;

$K_{вос.в(\bar{\theta})}$, $K_{вос.д(\bar{\theta})}$ – базовое значение коэффициента восстановления выпуска (движения) подвижного состава ГПТ.

4. Определение уровня комплексного показателя надежности выпуска (K_{ϵ}) и движения на i -м маршруте – K_{δ}

$$Y_{\epsilon} = \frac{K_{\epsilon}}{K_{\epsilon(\bar{\theta})}}, \quad Y_{\delta} = \frac{K_{\delta}}{K_{\delta(\bar{\theta})}},$$

где K_{ϵ} , K_{δ} – фактическое значение коэффициента надежности выпуска (движения) подвижного состава ГПТ;

$K_{\epsilon(\bar{\theta})}$, $K_{\delta(\bar{\theta})}$ – базовое значение коэффициента надежности выпуска (движения) подвижного состава ГПТ.

5. Определение уровня интегрального показателя надежности перевозочного процесса по i -му маршруту

$$Y_{\kappa} = \frac{K_{\kappa}}{K_{\kappa(\bar{\theta})}},$$

где K_{κ} – фактическое значение коэффициента надежности перевозочного процесса по маршруту;

$K_{\kappa(\bar{\theta})}$ – базовое значение коэффициента надежности перевозочного процесса по маршруту.

6. Определение уровня группового показателя надежности перевозочного процесса по i -м маршрутам депо (парка)

$$Y_{\zeta} = \frac{K_{\zeta}}{K_{\zeta(\bar{\theta})}},$$

где K_{ζ} – фактическое значение группового коэффициента надежности перевозочного процесса;

$K_{\zeta(\bar{\theta})}$ – базовое значение группового коэффициента надежности перевозочного процесса.

7. Определение уровня обобщенного показателя оценки надежности перевозочного процесса (в целом по транспортному предприятию) [67, с.115]

$$Y_o = \frac{K_o}{K_{o(\sigma)}},$$

где K_o – фактическое значение обобщенного коэффициента надежности перевозочного процесса;

$K_{o(\sigma)}$ – базовое значение обобщенного коэффициента надежности перевозочного процесса.

Важнейшим элементом процедуры определения уровней является формирование нормативной базы сравнения, заключающейся в установлении базовых значений показателей оценки. Формирование базы требует сбора статистической информации о сбоях выпуска (движения) и установления закона распределения наработки до сбоя (на сбой, между сбоями), времени восстановления перевозочного процесса, позволяющего получить ведомственные оценочные нормативы. Результаты сравнения сводятся в учетную форму, представленную в табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5

Показатели оценки надежности перевозочного процесса ГПТ
за « ____ » 20 ____ год

Номер депо (парка)	Номер маршрута	Показатель оценки	Значение показателя оценки		Уровень оценки надежности	Значение
			фактическое	базовое		
		Единичный показатель безотказности выпуска			Уровень единичного показателя безотказности выпуска	
		Коэффициент безотказности выпуска			Уровень показателя безотказности выпуска	
		Единичный показатель восстанавливаемости выпуска			Уровень единичного показателя восстанавливаемости выпуска	
		Коэффициент восстанавливаемости выпуска			Уровень показателя восстанавливаемости выпуска	
		Комплексный показатель надежности выпуска			Уровень комплексного показателя надежности выпуска	
		Единичный показатель безотказности движения			Уровень единичного показателя безотказности движения	

Показатели оценки надежности перевозочного процесса ГПТ
за « ____ » 20 ____ год

		Коэффициент безотказности движения			Уровень показателя безотказности движения	
		Единичный показатель восстанавливаемости движения			Уровень единичного показателя восстанавливаемости движения	
		Коэффициент восстанавливаемости движения			Уровень показателя восстанавливаемости движения	
		Комплексный показатель надежности движения			Уровень комплексного показателя надежности движения	
	В целом по маршруту	Комплексный показатель надежности перевозочного процесса			Уровень интегрального показателя оценки надежности перевозочного процесса	

	В целом по депо (парку)	Групповой показатель надежности перевозочного процесса			Уровень группового показателя оценки надежности перевозочного процесса	

	В целом по транспортному предприятию	Обобщенный показатель надежности перевозочного процесса			Уровень обобщенного показателя оценки надежности перевозочного процесса	

Периодичность расчета определяется потребностью транспортного предприятия, департамента транспорта Администрации города и может составляться за истекшие сутки (оперативный анализ), месяц, квартал, год. Собранные нарастающим итогом результаты расчета обеспечивают в статике и динамике определение изменений состояния надежности перевозочного процесса, причин снижения уровня, что в свою очередь позволяет определить меры по повышению стабильности внутригородских пассажирских перевозок и соответственно улучшению качества транспортного обслуживания населения города.

Предложенный подход к оценке надежности может быть использован при разработке методологии оценки качества внутригородских пассажирских перевозок.

ГЛАВА 2. ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВНУТРИГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

2.1. Описание процесса восстановления внутригородских пассажирских перевозок, нарушенных сбоями

Воздействие среды функционирования на внутригородские пассажирские перевозки приводит к сбоям перевозочного процесса и соответственно к нарушениям выпуска и движения подвижного состава.

Вследствие этого возникает настоятельная необходимость восстановления перевозочного процесса ГПТ.

Под восстановлением понимается полное приведение фактических параметров перевозочного процесса к исходным, то есть после каждого восстановления наработка имеет исходное распределение (соответствие нормативным документам).

Процесс приведения обеспечивается интегрированной функцией восстановления, включающей подфункции - регулирования и реализации (см. рис. 2.1).

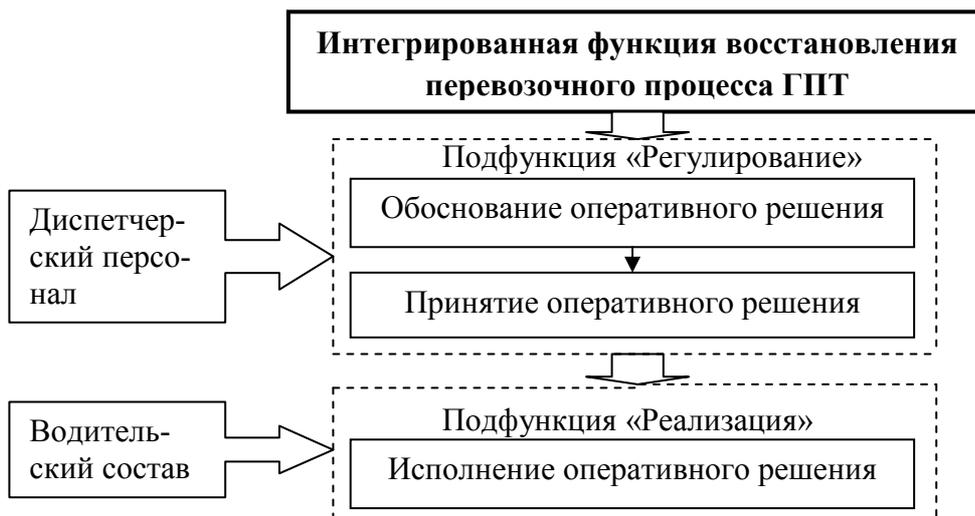


Рис. 2.1. Структура интегрированной функции восстановления перевозочного процесса

Интервал времени между двумя последовательно возникшими сбоями перевозочного процесса представляет собой цикл восстановления внутригород-

ских пассажирских перевозок.

Восстановление перевозочного процесса за относительно короткий промежуток времени присуще простой (детерминированной) транспортной ситуации, вызванной опережением, незначительным опозданием прибытия и т.д.

Процесс восстановления перевозочного процесса за относительно короткий период времени согласно теории восстановления представляет собой последовательность неотрицательных, взаимно независимых случайных величин $\{T_{n(n)}, n = 1, 2, \dots\}$, которые для $n \geq 2$ одинаково распределены.

Случайная величина $T_{n(n)}$ для $n \geq 2$ представляет собой случайную наработку перевозочного процесса после $(n-1)$ -го восстановления, т.е. продолжительность работы маршрута от одного сбоя до последующего.

При этом наработка перевозочного процесса является «остаточной», поскольку принятие и реализация мер по восстановлению произошли в прошлом.

В соответствии с определением процесса восстановления, распределении наработки перевозочного процесса $T_{n(1)}$ и $T_{n(n)}$ не совпадают.

Отсюда следует, что функции распределения указанных выше величин принимают вид: $F_1(t) = P(T_1 \leq t), F(t) = P(T_{n(n)} \leq t), n \geq 2$.

Процесс восстановления полностью характеризуется функциями распределения $F_1(t)$ и $F(t)$. При этом, если $F_1(t) \equiv F(t)$, то процесс восстановления является запаздывающим, а при $F_1(t) \equiv F(t)$ – обычным.

Поскольку восстановление перевозочного процесса осуществляется за относительно короткое время, то моменты восстановления перевозочного процесса представляют собой момент времени возникновения k -го сбоя и k -го восстановления и выражаются как

$$T_k = \sum_{n=1}^k T_{n(n)}, k \geq 1.$$

Процесс восстановления через моменты восстановления может быть представлен как $N(t) = \max(k: T_k \leq t), N(t) = 0$ для $t < T_1$ и представлять собой считающий процесс восстановления (см. рис. 2.2).

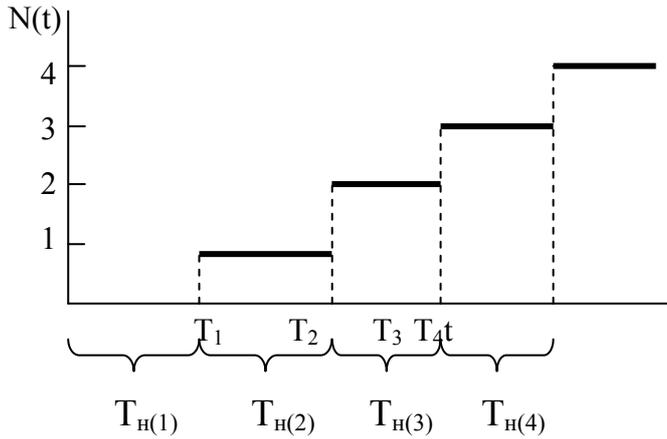


Рис. 2.2. Реализация считающего процесса восстановления внутригородских пассажирских перевозок $\{N(t), t \geq 0\}$

Таким образом, для каждого момента t величина $N(t)$ означает случайное число восстановлений выпуска или движения, произошедших за время $[0, t]$.

Из определения T_k следует, что неравенство $T_k \leq t$ выполняется при условии, что $N(t) \geq k$. Поэтому $F_k(t) = P(T_k \leq t) = P(N(t) \geq k)$, причем функция распределения $F_k(t)$ величины T_k из-за независимости случайных величин X_k при $k \geq 1$ может быть задана формулой $F_k(t) = F_1 \cdot F^{(k-1)}(t), t \geq 0$. Поскольку $f_1(t) = F_1'(t)$ и $f(t) = F'(t)$, то плотности распределения принимают вид $f_k = f_1 \cdot f^{(k-1)}, t \geq 0$.

Принимая во внимание, что $P(N(t) \geq k) = P(N(t) = k) + P(N(t) \geq k + 1)$ из соотношений при определении F_k следует, что $P(N(t) = k) = F_k(t) - F_{k+1}(t)$, где $N(t)$ имеет конечные моменты всех порядков. С помощью вышеприведенного уравнения определяется функция распределения $F(t)$ для $N(t)$.

Следует отметить, что вышеприведенная методология расчета наиболее применительна для нормального закона распределения, экспоненциального и закона Эрланга.

Для нормального закона распределения $F^{(k)}(t) = P(N(t) \geq k) = \Phi((t - k\mu)/\sigma\sqrt{k})$, где $F(t) = \Phi((t - \mu)/\sigma), \mu \geq 3$. Из изложенного следует, что оценка вероятности равна $P(N(t) = k) = \Phi\left(\frac{t - k\mu}{\sigma\sqrt{k}}\right) - \Phi\left(\frac{t - (k + 1)\mu}{\sigma\sqrt{k + 1}}\right)$.

Если случайные величины X_n распределены в соответствии с распределением Эрланга порядка n с параметром α , то распределения гамма-распреде-

ния сохраняют тип в результате свертки. Поэтому для $F(t) = 1 - e^{-\alpha t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\alpha t)^i}{i!}$

$$F^{(k)}(t) = P(N(t) \geq e^{-\alpha t} \sum_{j=nk}^{\infty} \frac{(\alpha t)^j}{j}).$$

Исходя из вышеприведенного, следует, что оценка вероятности может быть определена как

$$P(N(t) = k) \geq e^{-\alpha t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(\alpha t)^{nk+j}}{(nk+j)!}.$$

Вышеизложенное описание относится к ситуации, когда восстановление перевозочного процесса осуществляется СОУП ГПТ за короткий промежуток времени относительно продолжительности интервала между сбоями [5, с.84-87].

В этом случае процесс восстановления движения обеспечивается путем саморегулирования водительским составом в течение периода следования по маршруту или принятием оперативного решения диспетчерским персоналом в момент прибытия подвижного состава ГПТ на конечную станцию или контрольный пункт.

В эксплуатационной практике, как показывают результаты проведенного исследования, достаточно часто возникает ситуация, вызванная более длительным периодом устранения сбоя и соответственно восстановления перевозочного процесса ГПТ.

Восстановление за относительно длительный период характерно для сложной ситуации, вызванной ДТП, временным выходом из эксплуатации участка пути маршрута (особенно для ГЭТ) и т.д.

Продолжительность восстановления перевозочного процесса представляет собой временный период от начала возникновения отклонений параметров до их возвращения к исходному состоянию или близко к исходному.

Время восстановления представляет собой сумму временных периодов, затрачиваемых на выполнение отдельных операций, и определяется как

$$T_{\text{в}} = t_{\text{сд}} + t_{\text{усп}} + t_{\text{он}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{р}},$$

где $t_{\text{сд}}$ – продолжительность передачи водителем диспетчеру информации о

сбое, мин;

$t_{уст}$ – продолжительность непосредственного устранения сбоя, мин;

$t_{он}$ – продолжительность обоснования и принятия диспетчером оперативно-го решения, мин;

$t_{дв}$ – продолжительность передачи диспетчером водителю оперативного решения, мин;

t_p – время реализации водителем оперативного решения, мин.

В связи со стохастическим характером возникновения нарушений на маршруте сбой перевозочного процесса возникает спустя случайное время наработки $T_{н(i)}$, и полное восстановление перевозок происходит по истечении случайного времени $T_{в}$.

Восстановленный перевозочный процесс обеспечивает транспортной услугой пассажиров в течение времени $T_{н(2)}$, а затем может вновь возникнуть сбой и новое восстановление через время $T_{в(2)}$ и т.д. (см. рис. 2.3).

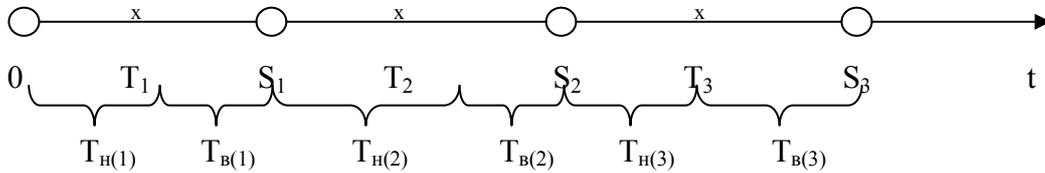


Рис. 2.3. Реализация процедуры восстановления перевозочного процесса:
 T_n – момент сбоев; S_n – момент восстановления

Момент возникновения сбоев представляет собой моменты времени $T_1 = T_{н(1)}$, $T_2 = T_{н(1)} + T_{в(1)} + T_{н(2)}$, ..., а моменты восстановления – моменты завершения восстановления перевозочного процесса $S_1 = T_{н(1)} + T_{в(1)}$, $S_2 = T_{н(1)} + T_{в(1)} + T_{н(2)} + T_{в(2)}$,

Поскольку $\{T_{н(n)}, n \geq 1\}$ и $\{T_{в(n)}, n \geq 1\}$ представляют собой две последовательно независимых одинаково распределенных неотрицательных случайных величины, то последовательность $\{(T_{н(n)}, T_{в(n)}), n \geq 1\}$ и $\{(T_k, S_k), k \geq 1\}$ является описанием альтернирующего процесса восстановления внутригородских пассажирских перевозок.

Процесс восстановления, заданный вышеприведенным определением,

можно эквивалентным образом описать процессом $\{Z(t), t \geq 0\}$ с помощью соотношения

$$Z(t) \begin{cases} 0, \text{ если } t \in (T_k, S_k), \\ 1, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Процесс $Z(t)$ задает состояние перевозочного процесса в момент времени $t: Z(t)$, т.е., если перевозочный процесс осуществляется без сбоя в момент времени t и $Z(t) = 0$, если перевозочный процесс в момент t восстанавливается диспетчерским персоналом (см. рис.2.4).

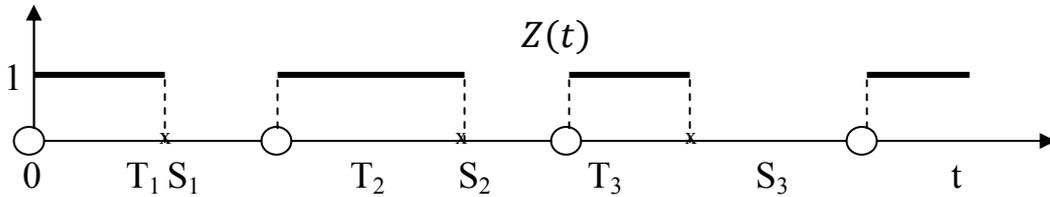


Рисунок 2.4 - Реализации фазового процесса $\{Z(t)\}$

Приведенное определение альтернирующего процесса восстановления (являющееся обобщением понятия обычного процесса восстановления) подразумевает, что к моменту начала наблюдения $t = 0$ диспетчерский персонал принимает меры оперативного воздействия и все восстановления перевозочного процесса происходят практически полностью.

Важнейшими показателями процесса восстановления пассажирских перевозок по маршрутам являются стационарный коэффициент оперативной готовности (K_{oz}) и стационарный коэффициент готовности (K_2).

Для стационарного коэффициента оперативной готовности K_{oz} и стационарного коэффициента готовности K_2 справедливо соотношение

$$K_{oz} = \lim_{t \rightarrow \infty} (P(Z(t)) (P(Z(t) = 1, V_t^{(1)} > t_i)) = \frac{1}{\bar{T}_{в(i)} + \bar{T}_{н(i)}} \int_0^{\infty} \bar{F}(u) du \text{ или}$$

$$K_{oz} = K(1 - F_R(t_i))$$

$$K_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} K(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t K(u) du = \bar{T}_{в(i)} / (\bar{T}_{в(i)} + \bar{T}_{н(i)}),$$

где t_i – интервал времени;

$\bar{T}_{в(i)}$ – среднее время восстановления перевозочного процесса;

$\bar{T}_{н(i)}$ – среднее время наработки;

\bar{F} – вероятность безотказности перевозочного процесса;

$V_t^{(1)}$ – остаточная наработка перевозочного процесса к моменту t , означающая вероятность того, что перевозочный процесс, находящийся в состоянии соответствующего требованиям маршрутного расписания, не окажется нарушенным сбоем на следующем интервале времени $(t, t + t_i)$;

$F_R(t_i)$ – функция распределения, определяемая как

$$F_R(t) = \frac{1}{\bar{T}_{e(i)}} \int_0^t \bar{F}(t_i) dt_i.$$

Элементарная оценка для коэффициента оперативной готовности определяется как $K_{oz} \geq 1 - (t_i + \bar{T}_{n(i)}) / (\bar{T}_{e(i)} + \bar{T}_{n(i)})$.

Важнейшими характеристиками процесса восстановления внутригородских пассажирских перевозок для перевозочного процесса, находящегося в состоянии $\{Z(t), t \geq 0\}$ являются суммарное время безотказной работы маршрута и суммарное время простоя на маршруте за интервал $(0, t)$ (см. рис. 2.5).

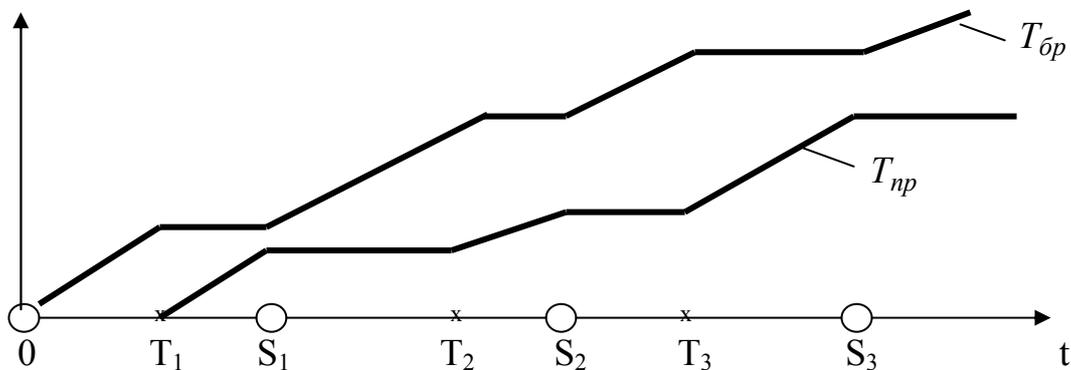


Рисунок 2.5 – Суммарное время безотказной работы подвижного состава на маршруте: $T_{бp}$ – суммарное время безотказной работы маршрута; $T_{нp}$ – суммарное время простоя на маршруте

Величина $T_{бp}$ равняется сумме наработок T_n до момента t , включая, возможно, неполный период работы по маршруту, непосредственно примыкающий к моменту t . При этом $T_{нp}$ представляет собой сумму всех времен восстановления T_e (включая последнее, возможно, неполное) до момента t .

Таким образом, нестационарный средний коэффициент готовности на интервале $(0, t)$ соответствует средней доле суммарного времени безотказной ра-

боты маршрута на интервале $(0, t)$. В частности, из соотношения, определяющем K_2 , следует, что коэффициент готовности также означает среднюю долю времени, когда перевозочный процесс находится в рабочем состоянии [5, с.106-112].

Важнейшей задачей СОУП ГПТ является минимизация величины T_g путем сокращения продолжительности ее составляющих. Сокращение времени $t_{\partial d}$ и $t_{\partial c}$ обеспечивается за счет внедрения средств речевой связи «водитель-диспетчер». Уменьшение времени устранения сбоя t_{ycm} возможно за счет повышения оперативности работы технической помощи, аварийно-восстановительной службы, ГИБДД и других служб, обеспечивающих устранение сбоя.

Уменьшение продолжительности обоснования и принятия оперативных решений t_{on} при одновременном повышении качества управляющих воздействий возможно за счет совершенствования функции регулирования путем разработки и внедрения средств поддержки, принимаемых диспетчерским персоналом мер по восстановлению перевозочного процесса.

Сокращение продолжительности реализации оперативного решения t_p возможно за счет повышения квалификации водительского состава, предоставления условий, благоприятных для движения общественного транспорта, путем выделения обособленных полос движения, установки светофоров вызывного действия (для рельсового транспорта).

2.2. Характеристика оперативного управления как системы массового обслуживания в условиях нарушения надежности перевозочного процесса

Влияние сбоев внутригородских пассажирских перевозок часто выражаются не в полном прекращении перевозочного процесса (закрытии маршрута), а в ухудшении рабочих характеристик производственной системы вследствие полных или частичных отказов ее отдельных элементов (подвижного состава ГПТ, рельсового пути, контактно-кабельной сети – для городского электро-

транспорта) [16, с.3].

В этой транспортной ситуации возникает необходимость оперативного вмешательства в перевозочный процесс с целью устранения сбоя и (или) восстановления нарушенного выпуска (движения) подвижного состава ГПТ, то есть оперативное восстановление рабочих характеристик производственной системы, обеспечивающей внутригородские пассажирские перевозки.

Таким инструментом служит система оперативного управления перевозочным процессом городского пассажирского транспорта, поскольку ее функционирование направлено на выполнение определенных операций по обслуживанию однородных объектов (подвижного состава, рельсового пути, контактно-кабельной сети).

Конкретное проявление отказов указанных элементов различно, но их объединяет при поступлении в СОУП ГПТ потребность в обслуживании сбоя. Поэтому СОУП, предназначенная для обработки однородного потока заявок о сбое, представляет собой систему массового обслуживания сбойных ситуаций (СМО ССПП) [4, с.77].

В процессе реализации этапов перевозочного процесса (выпуска и движения) диспетчерам по выпуску депо (парка), линейным диспетчерам и центральному (старшему) диспетчеру транспортного хозяйства поступает поток запросов в виде сообщений о сбоях, требующих удовлетворения определенной потребности – принятия оперативных решений по восстановлению внутригородских перевозок ГПТ.

Источником потока однородных запросов являются элементы СОУП ГПТ – подвижной состав ГПТ, рельсовый путь, контактно-кабельная сеть (для городского электротранспорта) и т.д.

Их объединяет при поступлении в СОУП ГПТ заявки потребность в обслуживании диспетчерским персоналом транспортного предприятия.

Интенсивность управляющих воздействий диспетчерского персонала определяется в основном частотой сбоев, то есть отклонениями выпуска и движения ПЕ от маршрутных расписаний.

Укрупненная структура системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса городского пассажирского транспорта приведена на рис. 2.6.

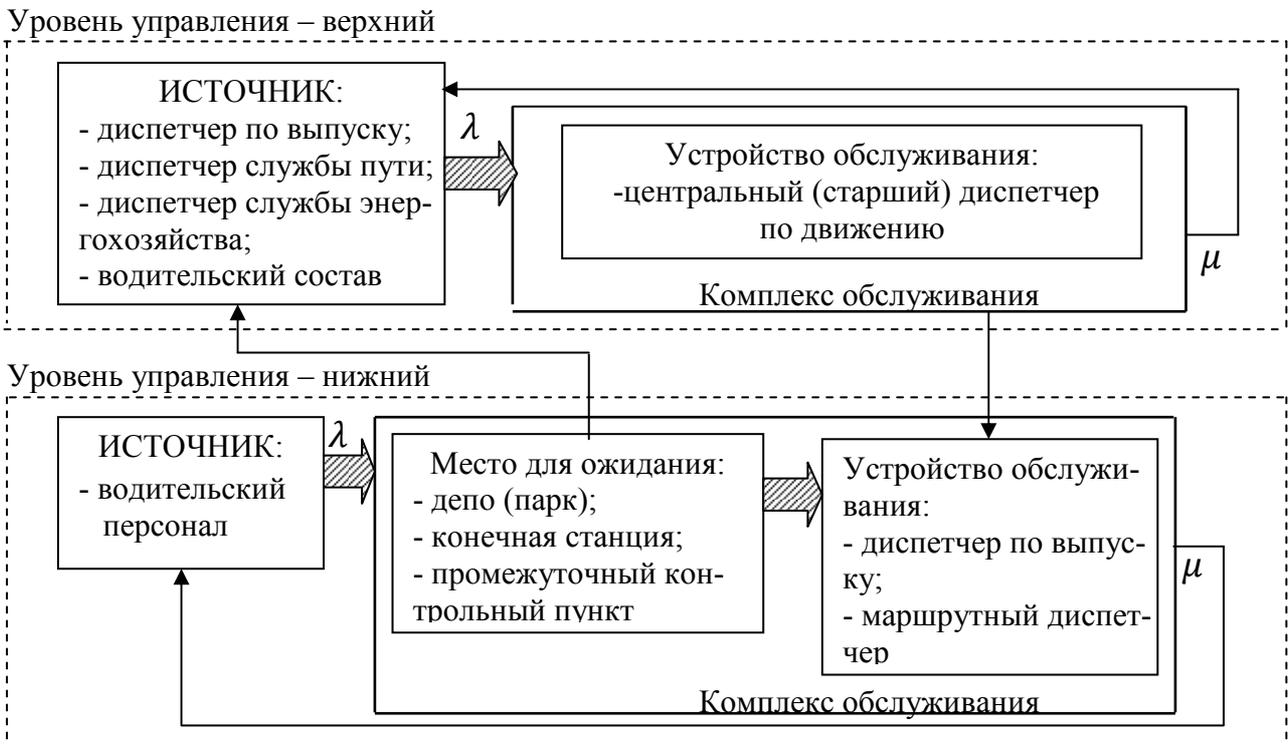


Рис.2.6. Укрупненная структура системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса ГПТ:

μ – оперативное решение по восстановлению перевозочного процесса;
 λ – заявка на обслуживание сбоя перевозочного процесса

Основным событием для СМО ССПП является поступление очередной заявки (информации о сбое) и завершение обслуживания заявки (принятие оперативного решения), находящейся в СОУП ГПТ.

Поток событий (возникновение сбоев перевозочного процесса) можно считать простейшим, так как выполняются следующие условия:

1. Стационарности, поскольку для любого конечного множества интервалов времени, образующих в совокупности эксплуатационный период работы ПС ГПТ, вероятность возникновения сбоев не зависит от расположения этих интервалов на оси времени, т. е. времени работы на линии.

В случае несоответствия реального потока событий данному условию для обеспечения условия стационарности используется метод агрегирования состо-

яний или дифференциации [1, с.63].

2. Отсутствие последствия, так как вероятность возникновения любого заданного числа сбоев на интервале времени не зависит от того, сколько сбоев уже возникло и в какие моменты времени до начала интервала.

3. Ординарность потока нарушений выпуска(движения) обусловлена тем, что вероятность возникновения двух и более сбоев в один и тот же момент времени настолько мала, что практически не могут возникнуть одновременно при выпуске или движении по маршруту несколько случаев сбоев перевозочного процесса.

Возникновение сбоев является случайным событием, а продолжительность принятия и реализации оперативного решения представляет собой случайную величину.

Системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса ГПТ представляет собой замкнутую систему обслуживания, поскольку после каждого обслуживания (принятия оперативного решения по восстановлению нарушенного перевозочного процесса) объект управления (подвижной состав ГПТ и элементы обеспечивающих подсистем) возвращается в источник заявок.

Процесс повторяется с возникновением сбоя выпуска или движения на линии.

Системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса ГПТ является системой без потерь с выраженным образованием очереди, объектом которой являются депо (парки), маршруты следования ПС, маршрутная система города в целом.

Предметом исследования выступают сбои, возникающие в процессе выпуска и движения подвижного состава ГПТ на линии.

Система массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса по классификационным признакам относится:

- по количеству каналов к одноканальным системам с ожиданием.

Одноканальность обусловлена тем, что исходя из принципа централиза-

ции и единоначалия оперативного управления за выпуском, контроль обеспечивается только одним диспетчером депо(парка) по выпуску, движением на маршруте (ах) – одним маршрутным диспетчером, движением на всей маршрутной системе – одним центральным (старшим) диспетчером по движению и если канал (диспетчер) занят, то заявка на восстановление встает в очередь в ожидании обслуживания (следует из ПТЭ автобуса, трамвая, троллейбуса).

Структура канальности системы приведена на рис. 2.7.

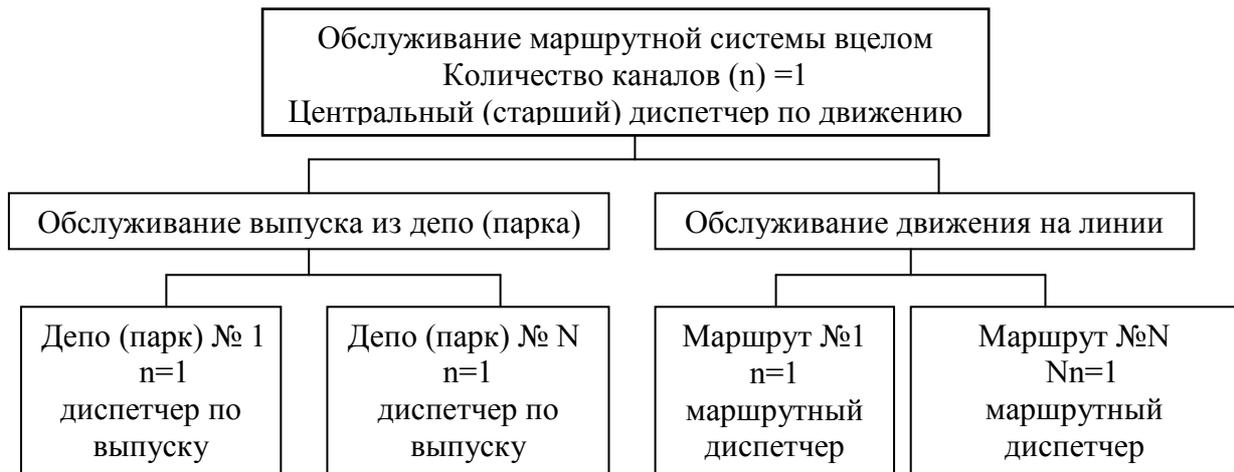


Рис. 2.7. Структура канальности системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса ГПТ

Одноканальная СМО ССПП является достаточно простейшим типом системы массового обслуживания.

Размеченный граф ее состояний приведен на рис. 2.8 [4, с.80].

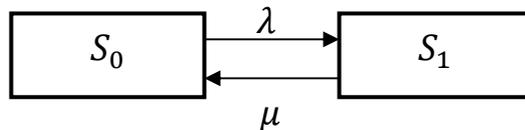


Рис.2.8. Размеченный граф состояний СМО ССПП:

S_0 – состояние системы, когда диспетчер свободен; S_1 – состояние системы, когда диспетчер занят; λ – интенсивность потока заявок (информации о сбое) поступающих диспетчеру; μ – интенсивность обслуженных диспетчером потока заявок (оперативных решений)

Геометрическая интерпретация перехода СМО ССПП из состояния S_0 в состояние S_1 и обратно представлена на рисунке 2.9.

В начальный период ($t = 0$) диспетчер свободен и система находится в состоянии S_0 . Однако с течением времени вероятность нахождения системы в

состоянии S_0 уменьшается.

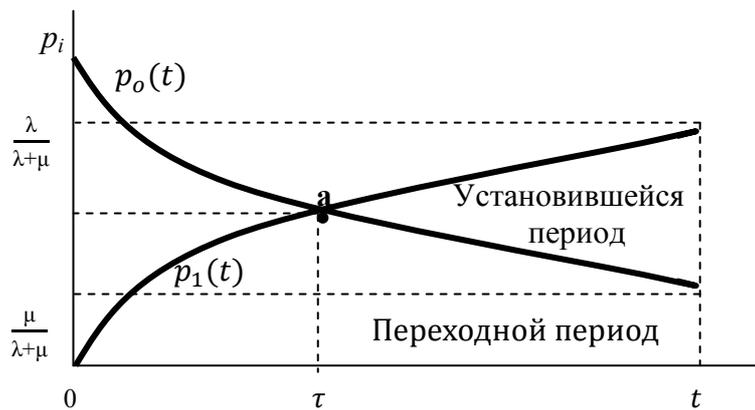


Рис.2.9. Геометрическая интерпретация перехода СМО ССПП из свободного состояния в состояние занятости

Темпы уменьшения $p_o(t)$ определяются для первого перехода в состояние S_1 только интенсивностью потока заявок (сбоев) λ , а в дальнейшем – как интенсивностью потока сбоев λ , так и интенсивностью освобождения диспетчера μ .

В пределе вероятность нахождения системы в состоянии S_0 равна постоянной величине $p_o = \mu/\lambda + \mu$.

Вероятность нахождения системы в состоянии S_1 дополняет до единицы эту величину $p_1(t) = 1 - p_o(t)$.

Поэтому для системы характерно наличие определенного периода $[0, \tau]$. Точка «а» означает состояние динамического равновесия, т. е. $p_o(t) = p_1(t)$.

Полученные предельные вероятности нахождения системы в каждом из возможных состояний представляет собой необходимую и достаточную совокупность данных для определения координат систем (см. табл. 2.1) [4, с.81].

Т а б л и ц а 2.1

Координаты системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса

№ п.п.	Наименование	Расчетная формула
1	Средняя продолжительность обслуживания (принятия и реализация оперативного решения) одной заявки, мин	$\bar{t}_{\text{обс}} = \frac{\sum t_{\text{обс}}}{q_{\text{обс}}}$
2	Среднее число заявок, которое может пропустить система за единицу времени (абсолютная пропускная способность системы), ед/час	$A = \frac{q_{\text{обс}}}{t}$

Координаты системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса

3	Среднее время ожидания обслуживания в очереди, мин	$\bar{t}_{ож} = \frac{\sum t_{ож}}{m}$
4	Среднее число заявок в очереди, ед.	$\bar{m} = \frac{\varpi}{r}$
5	Относительная пропускная способность системы, ед.	$a = \frac{A}{\lambda}$
6	Средняя продолжительность пребывания заявки в системе, мин	$\bar{t}_{сист} = \bar{t}_{обс} + \bar{t}_{ож}$
7	Среднее число занятых каналов обслуживания в системе, ед.	$\bar{n} = \frac{k_3}{k}$

Обозначение:

$t_{обс}$ – время обслуживания (принятия и реализации оперативного решения) одной заявки (сбоя), мин;

$q_{обс}$ – количество обслуженных заявок (сбоев) за определенный период времени, ед.;

t – период времени, в течении которого возникло k -е число заявок (сбоев);

$t_{ож}$ – время ожидания обслуживания заявки (принятия и реализации оперативного решения), мин;

ϖ – общее количество заявок ожидающих обслуживание за определенный период времени, ед.;

r – количество очередей обслуживания заявок возникших за определенный период времени, ед.;

k_3 – количество занятых каналов (диспетчеров) за рассматриваемый период времени, ед.;

k – общее количество каналов (диспетчеров) в системе за рассматриваемый период времени, ед.

- по характеру обслуживания потока заявок – к системам с ожиданием, так как поступившая заявка в момент, когда канал (диспетчер) занят, встает в очередь в ожидании обслуживания. На городском пассажирском транспорте (особенно на городском электротранспорте) в большинстве случаев имеются системы обслуживания без потерь с выраженным образованием очереди. Требования к системе начинаются с поступления заявок, подлежащих обработке. Эти заявки при известных условиях должны немного подождать и после этого они обслуживаются [10, с.7];

- по характеру образования очереди - с ограниченной очередью. Это ограничение (особенно для ГЭТ) обусловлено емкостью накопителя (размерами площадки для стоянки автобусов и троллейбусов, протяженностью обгонных рельсовых путей на конечной станции, степенью путевого развития на конечном пункте и т.д.);

- по дисциплине обслуживания – к системам без приоритета, так как обработка заявок диспетчерским персоналом осуществляется в порядке их поступления;
- по признаку последовательности обслуживания заявок – к однофазным, поскольку над одной заявкой (сбоем) производится только одна операция (разработка и принятие оперативного решения по восстановлению перевозочного процесса) и только одним каналом обслуживания (одним диспетчером).

В общем виде схема функционирования СМО ССПП приведена на рис. 2.10.

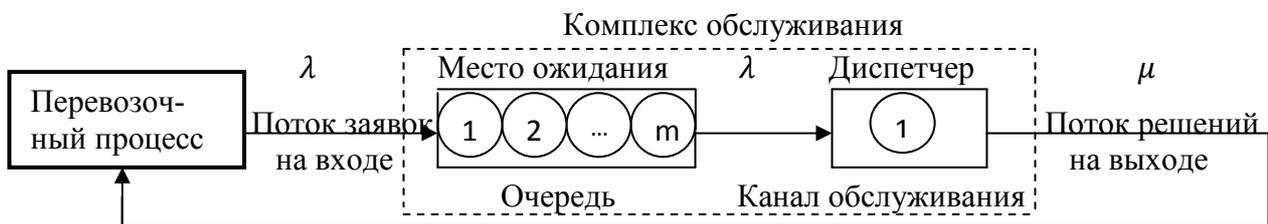


Рис.2.10. Схема функционирования системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса

Исходя из схемы функционирования СМО ССПП (см. рис.2.10) возникает входящий простейший поток заявок с плотностью λ .

Поскольку поток заявок беспорядочен (сбои возникают в любой период времени и их количество является случайной величиной, как и время обслуживания), то можно говорить о вероятностной модели функционирования СМО ССПП ГПТ и, соответственно, использовании уравнений теории вероятности.

На городском общественном пассажирском транспорте в связи со значительным количеством событий (особенно для крупных городов) в большинстве случаев может быть использовано математическое упрощение этих уравнений в виде модели распределения сбоев перевозочного процесса по закону Пуассона[10, с.8]

$$P_{\lambda}(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}.$$

В период полной занятости канала (диспетчера) в системе образуется очередь из m заявок, ожидающих обслуживания.

Время обслуживания заявок распределяется по произвольному закону с математическим ожиданием $\bar{t}_{обс}$ и средним квадратическим отклонением σ_t . В результате работы системы формируется выходящий поток обслуженных заявок (сбоев) с плотностью μ , которая определяется как $\mu = \frac{1}{\bar{t}_{обс}}$.

Координаты системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса общественного ГПТ (см. табл.2.1) [4, с.78], позволяют определить среднюю и максимальную длину очереди, то есть количество сбоев требующих обслуживания, интервалов и частоту поступления заявок, продолжительность ожидания и обслуживания диспетчером заявки и т.д.

Указанные величины являются технологическими данными определения для реальных условий работы конкретного транспортного предприятия рациональных размеров объектов оперативного управления (количества ПС на маршруте и маршрутов контролируемых линейным диспетчером, количества маршрутов в «кусте» для районного диспетчера, количество АРМ в центральной диспетчерской, степень информационной нагрузки центрального или старшего диспетчера по движению и т.д.).

Полученные результаты позволяют разработать организационно-технические мероприятия по сокращению времени ожидания в очереди и обслуживанию, сокращая тем самым время восстановления перевозочного процесса и соответственно повышая качество транспортного обслуживания городского населения.

Использование предлагаемого подхода к представлению СОУП ГПТ раскрывает основные признаки оперативного управления, что позволяет оценивать количественную сторону работы СОУП ГПТ.

С помощью сравнения вариантов СМО ССПП может быть найдена лучшая по своей структуре и эксплуатационным характеристикам конструкция системы массового обслуживания и тем самым решена задача оптимизации самой системы оперативного управления перевозочным процессом ГПТ [10, с. 6].

2.3. Математическое описание функционирования системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса

В основе математического описания функционирования системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса положен математический аппарат, предложенный рядом авторов [4, с.93-96, 10, с. 76-78].

Для анализа СМО ССПП использован метод вложенных марковских цепей, разработанный М. Кендаллом, сущность которого заключается в том, что система рассматривается только в те моменты, когда обслуженные заявки покидают систему, то есть когда оперативное решение принято и началось его реализация.

Эти моменты являются точками регенерации, так как с покиданием заявки системы она восстанавливает свое первоначальное состояние.

В точках регенерации начинается новый этап обслуживания, и процесс восстановления пассажирских перевозок вновь повторяется.

Метод точек регенерации находит применение при анализе функционирования СМО ССПП в случае выполнения условия - $\lambda > 1$.

При функционировании СМО ССПП на маршруте возникает четыре возможных состояния:

1. Отсутствие возникновения сбоев перевозочного процесса – вероятность состояния p_0 .

2. В канал поступает одна заявка (возникает один сбой), то есть $\lambda = 1$, которая сразу же обслуживается диспетчером – вероятность p_1 .

3. В канал поступают две заявки (возникает два сбоя), т.е. $\lambda = 2$, из которых первая по времени поступления обслуживается диспетчером, а вторая находится в процессе ожидания – вероятность p_2 .

4. В канал поступает несколько заявок (возникает ряд сбоев), т.е. $\lambda = q$, из которых первая по времени поступления обслуживается диспетчером, а остальные – находятся в состоянии ожидания ($q-1$), то есть возникает очередь обслуживания – вероятность p_q .

При наличии стационарности потока событий возникает линейная система уравнений для возможных состояний СМО ССПП:

$$\left. \begin{aligned} &\bullet \text{заявки (сбои) без ожидания обслуживания диспетчером} \\ &-q\lambda p_0 + \mu p_1 \\ &(q-n+1)\lambda p_{n-1} - [(q-n)\lambda + n\mu]p_n + (n+1)\mu p_{n+1} = 0 \end{aligned} \right\} \text{ для } 0 < n < m$$

$$\left. \begin{aligned} &\bullet \text{заявки (сбои) с ожиданием обслуживания диспетчером} \\ &(q-n+1)\lambda p_{n-1} - [(q-n)\lambda + m\mu]p_n + m\mu p_{n+1} = 0 \text{ для } m \leq n < q \\ &\lambda p_{q-1} - m\mu p_q = 0 \text{ для } n=q \end{aligned} \right\}$$

Для подлежащих определению вероятностей состояний системы p_n имеется q уравнений и отношения p_n/p_0 могут быть представлены с помощью $\rho = \lambda/\mu$ следующим образом:

1. Заявки (сбои) без ожидания обслуживания диспетчером

$$p_1 = q \frac{\lambda}{\mu} p_0 p_2 = \frac{q-1}{2} \rho p_1 = \frac{q(q-1)}{1 \cdot 2} \rho^2 p_0 = \binom{q}{2} \rho^2 p_0$$

В общем виде до тех пор пока будет выполняться неравенство $0 < n \leq m$ вероятность состояния системы p_n определяется как

$$p_{n+1} = \frac{q-n}{n+1} \rho p_n \text{ или } p_n = \frac{q!}{n!(q-n)!} \rho^n p_0 = \binom{q}{n} \rho^n p_0.$$

2. Заявки (сбои) с ожиданием обслуживания диспетчером

$$p_{m+1} = \frac{q-m}{m} \rho p_m \text{ или в общем виде } p_n = \frac{q!}{m^{(n-m)} m! (q-n)!} \rho^n p_0$$

Вероятность отсутствия событий (отсутствие сбоев перевозочного процесса) при условии $\sum_{n=0}^q p_n = 1$ определяется как

$$p_0 = 1 / \left(\sum_{n=0}^m \binom{q}{n} \rho^n + \sum_{n=m+1}^q \frac{q!}{m^{(n-m)} m! (q-n)!} \rho^n \right)$$

Вероятность отказа в обслуживании диспетчером заявки (сбоя) соответствует вероятности того, что в момент поступления заявки диспетчер занят

$$P_{отк} = p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = 1 - q, \text{ где } q = p_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} [4, 81].$$

Среднее число заявок, которые обслуживаются или ожидают обслуживания может быть определено как $\overline{q_{обс}} = \sum_{n=1}^q n p_n$.

Средняя длина очереди ожидания составит $\overline{q_{ож}} = \sum_{n=m+1}^q (n - m)p_n$.

Коэффициент незанятости или время ожидания диспетчером возникновения события (пассивное время работы диспетчерского персонала) определяется как

$$K_n = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^{m-1} (m - n)p_n = \sum_{n=0}^{m-1} p_n - \frac{1}{m} \sum_{n=0}^{m-1} np_n$$

Коэффициент незанятости позволяет определить не только продолжительность пассивного времени дежурства диспетчера на каждом конкретном рабочем месте, но и выявить возможные резервы интенсификации деятельности диспетчерского персонала.

Поскольку состоянию одноканальной системы с ожиданием обслуживания заявок присуще условие $\lambda > 1$, то есть возникновение сбоев перевозочного процесса, то для анализа функционирования СМО ССПП возможно применение метода регенерации точек.

Анализ системы проводится в два момента регенерации:

1. В момент времени t_i , когда систему покидает i -я заявка, т.е. оперативное решение принято диспетчером и передано для реализации водителю составу.

2. В момент времени t_{i+1} , когда систему покидает $(i+1)$ -я заявка.

Между количеством заявок в системе q_0 в момент времени t_i и количеством заявок q_1 в момент t_{i+1} существует взаимосвязь $q_1 = q_0 - 1 + m$.

В общем виде возможно возникновение первого состояния системы (отсутствие возникновения сбоев перевозочного процесса), характеризуемого условием $-q_0 = 0, m = 0$. Поэтому в целях исключения отрицательного числа заявок в системе вводится переменная δ , принимаемая значение

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{если } q_0 > 0 \\ 1, & \text{если } q_0 = 0 \end{cases}$$

Исходя из чего величина q_1 принимает вид $q_1 = q_0 - 1 + \delta + m$. В приведенном выражении все показатели являются случайной величиной.

В установившемся режиме величины q_0 и q_1 не зависят от времени t , т.е.

$\bar{q}_1 = \bar{q}_0 = \bar{q}$ и поэтому $\bar{\delta} = 1 - \bar{m}$.

Поскольку поток заявок является простейшим, то за время обслуживания одной заявки в систему поступает в среднем новых заявок на обслуживание $\bar{m} = \lambda \bar{t}_{обс} = \lambda \frac{1}{\mu} = \alpha$. Исходя из чего следует, что переменная $\bar{\delta} = 1 - \alpha$.

При возведении в квадрат величины q_1 и с учетом того, что $q_0 \lambda = 0$ и $\delta^2 = \delta$ получаем значение $q_1^2 = q_0^2 - 2q_0 + 1 + 2q_0 m - \delta - 2m + 2\delta m + m^2 = q_0^2 + 2q_0(1 - m) + 1 - \delta - 2m(1 - \delta) + m^2$.

Учитывая то, что q_0 и q_1 имеет одинаковое распределение не зависящее от времени при переходе к установившемуся режиму функционирования СМО ССПП вышеприведенный выражение принимает вид $0 = -2\bar{q}(1 - \bar{m}) + 1 - \delta - 2\bar{m}(1 - \bar{\delta}) + M(m^2)$.

Поскольку $\bar{\delta} = 1 - \bar{m} = 1 - \alpha$, то вышеприведенное равенство может быть представлено как $0 = -2\bar{q}(1 - \alpha) + \alpha - 2\alpha^2 + M(m^2)$. Из равенства определяется среднее значение количества заявок (сбоев перевозочного процесса)

$$\bar{q} = \frac{\alpha - 2\alpha^2 + M(m^2)}{2(1 - \alpha)},$$

где $M(m^2)$ – квадрат математического ожидания случайной величины q , определяемый как $M(m^2) = \sigma_m^2 + (\bar{m})^2$.

Вследствие того, что распределение простейшего потока заявок (сбоев) происходит в соответствии с законом Пуассона, то величина дисперсии σ_m^2 будет равна $\sigma_m^2 = \bar{m} = \alpha$. Так как $\bar{m} = \lambda M(t_{обс})$, то $\bar{m}^2 = \lambda^2(\sigma_t^2 + \frac{1}{\mu^2})$.

С учетом изложенного величина квадрата математического ожидания определяется как $M(m^2) = \alpha + \lambda^2 \sigma_t^2 + \alpha^2$.

Коэффициент вариации времени обслуживания заявки равен $\nu = \frac{\sigma_t}{\bar{t}_{обс}}$.

С использованием коэффициента вариации квадрат математического ожидания принимает вид $M(m^2) = \alpha + \alpha^2 + \frac{\lambda^2 \nu^2}{\mu^2} = \alpha + \alpha^2 + \alpha^2 \nu^2$.

В соответствии с формулами Полячека – Хинчина определяется:

- среднее число заявок находящихся в системе

$$\bar{q} = \alpha + \frac{\alpha^2(1+\nu^2)}{2(1-\alpha)};$$

- среднее число заявок находящихся в очереди в ожидании обслуживания

$$\bar{m} = \bar{q} - \overline{q_{обс}},$$

где $\overline{q_{обс}}$ – среднее число заявок, находящихся под обслуживанием, определяемое для одноканальной системы как $\overline{q_{обс}} = \lambda \frac{1}{\mu} = \alpha$.

Исходя из вышеизложенного, следует, что $\bar{m} = \frac{\alpha^2(1+\nu^2)}{2(1-\alpha)}$.

- средняя продолжительность нахождения заявки в очереди

$$\overline{t_{обс}} = \frac{\bar{m}}{\lambda} = \frac{\alpha^2(1+\nu^2)}{2\lambda(1-\alpha)},$$

- относительное время ожидания заявкой обслуживания диспетчером

$$t_{обс}^{отн} = \frac{\overline{t_{ож}}}{\overline{t_{обс}}} = \frac{\alpha^2(1+\nu^2)\mu}{2\lambda(1-\alpha)} = \frac{\alpha(1+\nu^2)}{2(1-\alpha)}$$

Результаты расчета сводятся в форму, приведенную в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

**Сводные показатели функционирования системы массового обслуживания
сбойных ситуаций перевозочного процесса (СМО ССПП)**

Вид ГПТ	Номер маршрута	Наименование конечной станции	Временной интервал	Показатели системы массового обслуживаниябойных ситуаций							
				вероятность состояния			коэффициент занятости диспетчера, K_H	среднее число заявок находящихся в системе, \bar{q}	среднее число заявок находящихся в очереди в ожидании обслуживания, \bar{m}	средняя продолжительность нахождения заявки в очереди, $\overline{t_{обс}}$	относительное время ожидания заявкой обслуживания, $t_{обс}^{отн}$
				отсутствие сбоев, p_0	наличие двух сбоев, p_1	наличие очереди сбоев, p_q					

Распределение отклонений от расписания маршрутизированного транспорта можно принять по нормальному закону.

С учетом этого вероятность превышения допустимой величины отклонения принимается $P_0 = 0,3173$.

Если предположить, что N_k – число конечных КП, а N – общее число КП, то интенсивность потока заявок к диспетчеру с конечных КП составит

$$\lambda_k = \frac{N_k}{N} \lambda(n),$$

где n – число диспетчеров на маршруте. Принимается равным единице, так как руководство движением на маршруте осуществляет только один линейный диспетчер, а выпуск обеспечивается также только одним диспетчером по выпуску.

Если допустить, что на маршруте имеется два конечных КП, то $N_k = 2 \sum m$, где m – число каналов поступления заявок.

В этом случае формула расчета интенсивности поступающих заявок к диспетчеру с КП принимает вид

$$\lambda_k = \frac{2 \sum m}{\sum mn} \lambda(n),$$

интенсивность управляющих воздействий диспетчерского персонала составит $\lambda_d = \lambda_k P_0$.

Обращение к диспетчеру осуществляется водителем при каждом нарушении движения, если оно не могло быть им самостоятельно ликвидировано в процессе движения по маршруту. Исходя из чего, можно предположить, что интенсивность поступления заявок в систему λ_d близка интенсивности управляющих воздействий λ_y , т. е. $\lambda_d \cong \lambda_y$, так как $\lambda_g \ll \lambda_y$, где λ_g – интенсивность обращения водителей к диспетчеру.

В результате статистического моделирования описанной системы можно получить зависимость числа диспетчеров или автоматизированных рабочих мест диспетчера – АРМ (n_d) от интенсивности формирования управляющих воздействий (λ_d) [9, с.143,144].

$$n_d = 10(1 - e^{-0,55\lambda_d}), \lambda_d \in [2, 5] \text{ заявок/мин.}$$

Рассмотренный способ позволит определить объективное количество диспетчерского персонала, АРМ транспортного предприятия ГПТ в зависи-

мости от конкретной транспортной ситуации, складывающейся в городе.

Предлагаемый методологический подход может быть использован при построении взаимосвязанной с СМО ССПП системы массового транспортного обслуживания населения ГПТ в виде многоканальной однофазной системы с ожиданием.

Заключение

1. В монографии автором приведено формализованное представление производственной системы обеспечения перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте, представляющей собой единство материальных и нематериальных компонентов анализируемого объекта, их внешних и внутренних связей, обеспечивающих рациональность информационных, производственных, управленческих и других процессов по переработке входа системы объекта в ее выход и достижение целей субъекта управления.

2. Перевозочный процесс городского пассажирского транспорта имеет циклический характер. В целях детализации перевозочного процесса автором проведена его декомпозиция на составляющие работы подвижной единицы ГПТ в течение определенного периода работы (от выхода на маршрут до захода в депо или парк) и составляющие оборотного рейса при движении подвижной единицы по расписанию в период линейной работы.

3. Приведена геометрическая интерпретация координат перевозочного процесса и соответственно состояний перевозочного процесса. Координаты перевозочного процесса представляют собой его количественно изменяемый признак, существенный с позиций оперативного управления транспортным обслуживанием населения города.

Состояние перевозочного процесса при выпуске и движении описывается в двух координатах (количеством выпущенного или работающего на маршруте подвижного состава на моментное время выпуска или движения и отражается при фиксированных координатах изображающей точкой в двумерном (на плоскости) пространстве.

4. Перевозочный процесс ГПТ относится к динамическим процессам, носящим вероятностный характер с дискретными событиями. Исходя из этого, фазовая траектория пространств состояний перевозочного процесса является кусочно-постоянной и формирует последовательность состояний, времени пребывания в них, образуя фазовое пространство перевозочного процесса.

Проведенное автором исследование показало, что фазовые траектории подразделяются на три вида – установившаяся, нарушенная и переходная траектория.

Установившаяся траектория (динамическое равновесие перевозочного процесса) характеризуется периодичностью, то есть моментом, когда перевозочный процесс через равные промежутки времени приходит к аналогичному состоянию. Однако под влиянием возмущающих воздействий среды происходит переход перевозочного процесса по нарушенной траектории из допустимой области в область возможного, но не допустимого. В этом случае СОУП ГПТ реагирует на возникшую сбойную ситуацию путем принятия и реализации управляющих воздействий по восстановлению нарушенного перевозочного процесса. Под их воздействием происходит переход в область промежуточного состояния перевозочного процесса – переходной режим, характеризуемый движением к установившемуся.

5. Общая среда функционирования ГПТ, оказывающая возмущающие воздействия на перевозочный процесс, подразделяется на внешнюю и внутреннюю.

К внешней среде относятся институты, факторы прямого и косвенного воздействия, находящиеся вне системы оперативного управления перевозочным процессом городского пассажирского транспорта (СОУП ГПТ) и потенциально влияющие на перевозочный процесс.

К внутренней среде относится часть общей среды, находящаяся в рамках и под контролем СОУП ГПТ, постоянно и непосредственно оказывающей влияние на функционирование и эффективность оперативного управления перевозочным процессом. Внутренняя среда представляет собой совокупность активных (подвижной состав ГПТ) и пассивных элементов (рельсовый путь, контактно-кабельная сеть, организационная структура системы оперативного управления, операции по реализации и восстановлению перевозочного процесса, диспетчерский и водительский персонал) объекта управления – перевозочного процесса.

6. На выпуск из депо (парка) и движение подвижного состава ГПТ по маршрутам оказывает возмущающие воздействия общая среда функционирования городского пассажирского транспорта, которая приводит к сбоям перевозочного процесса, снижая тем самым надежность внутригородских пассажирских перевозок.

Значительное количество сбоев как показывает практика, возникает в результате воздействия на перевозочный процесс внутренней среды.

Причиной возникновения этих сбоев является в основном техническая неисправность подвижного состава ГПТ, обусловленная значительным физическим износом.

7. Оценка надежности перевозочного процесса в соответствии со структурированностью проблемы проводится по двум этапам его составляющим – выпуск подвижного состава ГПТ из депо или парка и движение на линии.

8. В основу системы оценки надежности перевозочного процесса положены единичные, комплексные, интегральные, групповые и обобщающие показатели, которые обеспечивают процесс оценки на различных уровнях иерархической структуры - уровень маршрута, депо и (или) парка, транспортного предприятия.

Определение значений показателей надежности перевозочного процесса ГПТ осуществляется с применением расчетного метода.

9. Оценка надежности перевозочного процесса базируется на использовании комбинированного метода, предусматривающего применение дифференциального и комплексного методов.

Процесс оценки надежности представляет собой процедуру сравнения фактического значения по уровневому показателю с нормативным, выявления расхождения данных значений и установления причин последнего.

Сопоставление позволяет определить показатели, значение которых достигли значений показателей нормативного состояния надежности выпуска (движения) по маршруту, депо(парку), транспортному предприятию и отличающихся от них.

10. Факторы влияния обусловлены воздействием на перевозочный процесс внешней и внутренней средой функционирования ГПТ.

К факторам внешней среды относятся: период года; метеоусловия; высокая степень автомобилизации города; низкий уровень развития улично-дорожной сети города; внеплановые или с нарушением временного периода строительно-ремонтные работы, выполняемые на УДС сторонними организациями; жесткая система принудительного регулирования движением, отсутствие секции светофора «Поворот налево» на перекрестке при левоповоротном движении автотранспорта и т.д.

К факторам внутренней среды – конструктивные, производственные и эксплуатационные факторы.

11. Рассмотрев процесс восстановления внутригородских пассажирских перевозок нарушенных сбоями, автор уточнил понятие «восстановление перевозочного процесса».

Автор определил, что под восстановлением понимается полное приведение фактических параметров перевозочного процесса ГПТ к исходным, то есть после каждого восстановления наработка имеет исходное распределение (соответствие нормативным документам).

Процесс приведения обеспечивается интегрированной функцией восстановления, включающей подфункции - регулирования и реализации.

12. Инструментом вмешательства в перевозочный процесс с целью устранения сбоя и (или) восстановления нарушенного выпуска (движения) служит система оперативного управления перевозочным процессом городского пассажирского транспорта (СОУП ГПТ), поскольку ее функционирование направлено на выполнение определенных операций по обслуживанию однородных объектов (подвижного состава, рельсового пути, контактно-кабельной сети и т.д.).

Конкретное проявление отказов указанных элементов различно, но их объединяет при поступлении в СОУП ГПТ общее - потребность в обслуживании однородного потока заявок (сбоев). Поэтому СОУП может представлять собой систему массового обслуживания сбойных ситуаций (СМО ССПП).

13. Для анализа СМО ССПП может быть использован метод вложенных марковских цепей, сущность которого заключается в том, что система рассматривается только в те моменты, когда обслуженные заявки покидают систему, т.е. когда оперативное решение принято и началось его реализация.

Эти моменты являются точками регенерации, так как с покиданием заявкой системы она восстанавливает свое первоначальное состояние. В точках регенерации начинается новый этап обслуживания, и процесс восстановления пассажирских перевозок вновь повторяется.

14. Предложенный подход к оценки надежности может быть использован при разработке методологии оценки качества внутригородских пассажирских перевозок.

Список литературы

1. Анфилатов В. С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. Учеб. пособие / Анфилатов, В. С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А.-М.: Финансы и статистика, 2007.- 368 с.
2. Апполонов И.В., Аронов И.З. и др. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Н 17 В в 10 т. Т. 7. Качество и надежность в производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
3. Апполонов И.В., Аронов И.З. и др. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Н 17 В в 10 т. Т. 1. Методология. Организация. Терминология. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. Атлас Б.А., Бутов А.С., Волков Н.И., Голоскоков П.Г., Ступин О.К. Экономическая кибернетика на водном транспорте Учеб. для вузов. –М.: «Транспорт», 1978. - 280 с.
5. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
6. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А. Системы управления. Учеб. пособие.– М.: «Экономика и финансы», 2002. – 384 с.
7. Овечников Е.В., Фишельсон М.С. Городской транспорт. Учеб. для вузов. –М.: Высшая школа, 1976.- 352 с.
8. Павленко Г.П., Половников В.С., Лопаткин А.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением пассажирского городского транспорта . -М.: Транспорт, 1979. – 207 с.
9. Поттгофф Г. Теория массового обслуживания.– М.: Транспорт, 1979. – 144 с.
10. Пелих А.С., Терехов Л.Л., Терехова Л.А. Экономико-математические методы и модели в управлении производством. Ростов-на-Дону.: ФЕНИКС, 2005. – 248 с.
11. Поначугин В.А. Оперативное управление процессами перевозок на городском пассажирском транспорте. Монография. – Н.Новгород.: ННГАСУ,

2008. – 216 с.

12. Райншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. – М.: Радио и связь, 1988. - 208 с.

13. Резер С.М. Управление транспортом за рубежом. – М.: Наука, 1994. – 315 с.

14. Ременников В.Б. Управленческие решения. Уч. пособ. – М.: ЮНИТИ, 2005. – 144 с.

15. Рогожин С.В., Рогожина Т.В. Исследование систем управления. Учеб. – М.: Экзамен, 2005. - 288 с.

16. Спирин И.В. Резервирование в управлении хозяйственными системами (на примере автотранспорта). – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 199 с.

17. Фатхутдинов Р.А. Организация производства. Учеб. для вузов. – М.: ИНФРА-М, 2005.-528 с.

18. Эшби У.Р. Введение в кибернетику.- М.:Иностр. литер-ра,1959. - 43 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

с.

Введение	3
Глава 1. НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА	9
1.1. Перевозочный процесс городского пассажирского транспорта	9
1.2. Среда функционирования городского пассажирского транспорта	19
1.3. Влияние среды функционирования городского пассажирского транспорта на надежность перевозочного процесса.....	22
1.4. Факторы снижения надежности перевозочного процесса	35
1.5. Математическая постановка задачи оценки надежности перевозочного процесса.....	45
1.6. Система показателей надежности перевозочного процесса.....	48
1.7. Методологический подход к оценке надежности перевозочного процесса.....	56
Глава 2. ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВНУТРИГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК	62
2.1. Описание процесса восстановления внутригородских пассажирских перевозок нарушенных сбоями.....	62
2.2. Характеристика оперативного управления как системы массового обслуживания в условиях нарушения надежности перевозочного процесса...	69
2.3. Математическое описание функционирования системы массового обслуживания сбойных ситуаций перевозочного процесса	78
Заключение	85
Список литературы	90

Поначугин Виктор Александрович

Оценка надежности перевозочного процесса городского
пассажи́рского транспорта

Монография

Редактор
Н.В. Викулова

Компьютерный набор

Подписано в печать _____ Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Уч. изд. л. _____. Тираж 300 экз. Заказ № _____

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950, Н. Новгород, Ильинская, 65

Полиграфцентр ННГАСУ

603950, Н.Новгород, Ильинская, 65