

САКОВИЧ Н.Е.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Брянск – 2011

УДК 656.13.08 (035.3)

ББК 39.808

С – 15

Сакович, Н.Е. Математическое моделирование в обеспечении безопасности дорожного движения: монография / Н.Е. Сакович. – Брянск: Изд-во ФГОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академии, 2010. – 176 с.

ISBN 978-5-88517-192-2

Монография посвящена одной из проблем угрожающей национальной безопасности страны – состоянию аварийности на дорогах страны.

Актуальность темы исследования определяется как практической значимостью этой проблемы в стране, так и недостаточным научным обоснованием данных вопросов. Она позволяет расширить методы анализа дорожно-транспортных происшествий, выбрать профилактические мероприятия максимально эффективные для обеспечения безопасности дорожного движения.

Монография предназначена для преподавателей, аспирантов и студентов вузов обучающихся по специальностям автомобильного транспорта, безопасности жизнедеятельности, работников ГИБДД и автотранспортных предприятий (АТП).

Рецензенты:

заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и химия Брянского ГТУ д.т.н., профессор, академик РАЕН А.В. Тотай;

заведующий кафедрой высшей математики и физики Брянской ГСХА д.т.н., профессор В.А. Погоньшев.

ISBN 978-5-88517-192-2

© Сакович Н.Е., 2011

© Брянская ГСХА, 2011

Содержание

Список понятий и сокращений.....	7
Введение	10
Глава 1. Организация и обеспечение дорожного движения в автотранспортных предприятиях, их влияние на безопасность дорожного движения.....	12
1.1. Особенности организации и обеспечения дорожного движения.....	12
1.1. 1. Организация и обеспечение дорожного движения в автотранспортных предприятиях	12
1.2. Элементы системы «Водитель – транспортное средство – дорога»..	14
1.3. Методология исследования и обеспечения безопасности дорожного движения.....	20
Глава 2. Показатели безопасности дорожного движения и методы их оценки.....	25
2.1 Статистические и вероятностные и показатели безопасности дорожного движения.....	25
2.1.1. Статистические показатели безопасности дорожного движения....	25
2.1.2. Вероятностные показатели безопасности дорожного движения	30
2.2. Методы количественной оценки безопасности дорожного движения.....	34
2.2.1. Общий подход к оценке безопасности дорожного движения с помощью вероятностных показателей.....	34
2.2.2. Методы расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения.....	39
2.2.3. Логико-вероятностный метод расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения.....	41
2.2.4. Расчет показателей безопасности дорожного движения с помощью дерева (графа) состояний.....	47
2.2.5. Метод расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения с использованием Марковской модели.....	50

2.2.6. Расчет показателей безопасности дорожного движения с учетом возможности восстановления системы.....	54
2.2.7. Комбинированный метод расчета показателей безопасности дорожного движения.....	57
2.3. Задачи, решаемые с помощью вероятностных показателей безопасности дорожного движения.....	61
Глава 3. Анализ безопасности дорожного движения на этапах проектирования транспортных средств.....	64
3.1. Влияние свойств «Водитель – система управления – транспортное средство» на безопасность дорожного движения.....	64
3.2. Математические модели действий водителя.....	68
3.2.1. Модель действий водителя при компенсационном слежении.....	68
3.2.2. Модель действий водителя в опасной ситуации.....	71
3.3. Применение методов статистической динамики для исследования безопасности дорожного движения.....	73
Глава 4. Анализ безопасности дорожного движения на этапах испытаний и эксплуатации транспортных средств.....	80
4.1. Оценивание плотности вероятности определяющего параметра движения по гистограмме.....	80
4.2. Статистические методы анализа безопасности дорожного движения.....	82
4.3. Применение корреляционного и регрессионного анализов для оценки влияния эксплуатационных факторов на безопасность дорожного движения.....	88
4.4. Выбор профилактических мероприятий, максимально эффективных для обеспечения безопасности дорожного движения.....	91
4.4.1. Выбор мероприятий направленных на обеспечение безопасности дорожного движения в условиях ограниченных ресурсов и времени.....	91
4.4.1.1. Общая постановка задачи.....	92
4.4.1.2. Нормировка эффективности мероприятий.....	92

4.4.1.3. Решение задачи достижения максимальной эффективности за минимальное время, ограниченное в интервале $(0, T_p)$ критериальным методом.....	95
Глава 5. Влияние неисправностей транспортных средств на безопасность дорожного движения.....	103
5.1. Статистические данные и классификация неисправностей транспортных средств.....	103
5.2. Подход к оценке безопасности дорожного движения при возможных неисправностях транспортных средств.....	105
5.3. Схемы моделей действий водителя при неисправностях транспортных средств.....	107
5.4. Время запаздывания и располагаемое время вмешательства водителя в управление при неисправностях транспортных средств.....	111
5.5. Оценка степени опасности неисправностей транспортных средств.....	114
5.5.1. Расчетный (аналитический) метод.....	114
5.5.2. Метод статистических испытаний.....	115
5.5.3. Метод экспертного оценивания.....	117
5.6. Технические устройства повышения безопасности транспортных средств.....	118
5.7. Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения и оценка их эффективности.....	122
5.8. Требования к надежности транспортных средств из условия обеспечения заданного уровня безопасности дорожного движения.....	125
5.9. Обеспечение уровня безопасности, определяемого надежностью транспортных средств.....	132
Глава 6. Влияние ошибок водителя и обслуживающего персонала на безопасность дорожного движения.....	140
6.1. Статистические данные и роль обслуживающего персонала в обеспечении безопасности дорожного движения.....	140
6.2. Методы оценки влияния обслуживающего персонала на безопасность дорожного движения.....	142

6.3. Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения определяемой действиями обслуживающего персонала.....	146
6.4. Методы оценки влияния действий водителя на безопасность дорожного движения.....	149
6.4.1. Подход к оценке безопасности дорожного движения обусловленный действиями водителя.....	149
6.4.2. Оценка безопасности выполнения маневра по найденным законам распределения определяющих параметров.....	153
6.4.3. Оценка вероятности безопасного выполнения маневра по законам отклонения органов управления.....	154
6.4.4. Использование модели действий водителя для оценки вероятности потери устойчивости замкнутым контуром «Водитель – транспортное средство».....	157
Глава 7. Методология построения системы управления безопасностью дорожного движения	161
7.1. Нормативное прогнозирование аварийности.....	161
7.2. Автоматизированная информационная система.....	162
7.3. Метод распознавания образов.....	163
Заключение	167
Литература.....	168

Список понятий и сокращений

1. Дорожное движение (ДД) – совокупность общественных отношений, возникающих в процессе перемещения людей и грузов с помощью транспортных средств или без таковых в пределах дорог;

2. Безопасность дорожного движения (БДД) – состояние данного процесса, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий и их последствий;

3. Дорожно-транспортное происшествие (ДТП) – событие, возникшее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, сооружения, грузы либо причинен иной материальный ущерб;

4. Обеспечение безопасности дорожного движения (ОБДД) – деятельность, направленная на предупреждение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий, снижение тяжести их последствий;

5. Участник дорожного движения – лицо, принимающее непосредственное участие в процессе дорожного движения в качестве водителя транспортного средства, пешехода, пассажира транспортного средства;

6. Организация дорожного движения – комплекс организационно-правовых организационно-технических мероприятий и распорядительных действий по управлению движением на дорогах;

7. Дорога – обустроенная или приспособленная и используемая для движения транспортных средств полоса земли либо поверхность искусственного сооружения. Дорога включает в себя одну или несколько проезжих частей, а также трамвайные пути, тротуары, обочины и разделительные полосы при их наличии;

8. Транспортное средство – устройство, предназначенное для перевозки по дорогам людей, грузов или оборудования, установленного на нем.

9. Безопасность – отсутствие опасности. В понятие БДД будем вкладывать смысл выполнения дорожного движения (рейса) без угрозы жизни и здоровья водителя, пассажиров и пешеходов. В дорожном движении, как и во всяком движении, присутствует некоторая потенциальная опасность (риск) и, чем меньше риск, тем выше БД.

10. Отказ – событие, заключающиеся в полной или частичной потере работоспособности системы (система техническая объект в целом) или блока (составная часть системы).

11. Транспортная авария – авария на транспорте, повлеченная за собой гибель людей, причинение пострадавшим тяжких телесных повреждений, уничтожение и повреждение транспортных сооружений и средств или ущерб окружающей природной среде.

12. Причина ДТП – неблагоприятный фактор или их совокупность, приводящие к дорожно-транспортному происшествию.

13. Многофункциональная система «Водитель – транспортное средство – дорога – среда» (В-ТС-Д-С). В дальнейшем в рассматриваемой системе элемент «среда» входит в элемент «дорога».

14. Неблагоприятный фактор – событие или явление в системе «Водитель – транспортное средство – дорога (В-А-Д) или во внешней среде, которое приводит к нарушению нормального функционирования системы, сопровождающаяся возникновением опасной ситуации.

15. Опасная ситуация – это ситуация, при которой создается большая вероятность несчастного случая.

16. Опасность – ситуация, в которой возможно возникновение явлений и процессов, негативно воздействующих на людей и приводящих к материальному ущербу или разрушительно влияющих на окружающую среду.

17. Водитель – лицо, управляющее каким – либо транспортным средством, погонщик, ведущий по дороге вьючных, верховых животных или стадо. К водителю приравнивается обучающий вождению.

18. Участник дорожного движения – лицо, принимающее непосредственное участие в процессе движения в качестве водителя, пешехода, пассажира транспортного средства.

19. Правила дорожного движения (ПДД).

20. Автотранспортное предприятие (АТП).

21. Пассажир – лицо, кроме водителя, находящееся в транспортном средстве (на нем), а также лицо, которое входит в транспортное средство (садится на него) или выходит из транспортного средства (сходит с него).

22. Пешеход – лицо, находящееся вне транспортного средства на дороге и не производящее на ней работу. К пешеходам приравниваются лица, передвигающиеся в инвалидных колясках без двигателя, ведущие велосипед, мопед, мотоцикл, везущие санки, тележку, детскую или инвалидную коляску.

24. Государственная инспекция дорожного движения (ГИБДД).

Введение

16.11. 2005 г. состоялось заседание президиума Государственного совета по обеспечению БДД. С вступительным словом на заседании президиума « О состоянии БДД и мерах по совершенствованию государственного управления в области обеспечения БДД» выступил В.В. Путин. Он отметил, что, несмотря на принимаемые меры, число ДТП на дорогах России не снижается. За 2004 год в стране погибло 35 тысяч человек, ранено 250 тысяч. Значительное число пострадавших люди в возрасте от 25 до 40 лет. При этом, как показывают исследования, 20% пострадавших становятся инвалидами. Материальный ущерб от ДТП составляет более 2% ВВП, т.е. сотни миллиардов рублей.

Сегодня в Российской Федерации численность автомотопарка составляет около 35 млн единиц, ему принадлежит ведущая роль в организации всех перевозок страны. До двух миллионов человек ежегодно пополняют многомиллионную армию российских водителей. Непрерывный рост автомобильного парка, его грузоподъемности, скорости и разнотипности обуславливают огромные издержки автомобилизации. Это в первую очередь высокая загруженность улиц и дорог автомобилями, транспортный шум, загрязнение окружающей среды и другие.

Практика показывает, что значительное число дорожно – транспортных происшествий обусловлено сознательным нарушением водителями и пешеходами правил дорожного движения. Ошибки водителей, допускаемые ими в результате недостаточной подготовки и опыта, правовой нигилизм, низкая культура поведения на дорогах всех участников движения, вот те основные факторы влияющие на рост аварийности.

Низкие качества систем активной, пассивной и послеаварийной безопасности, недостаточно своевременно оказанная первая медицинская и доврачебная помощь, очень влияют на уровень смертности на наших дорогах.

Существующая практика анализа аварийности ограничивается, как правило, изучением динамики и структуры аварийности по различным показателям. Однако на современном этапе работы в сфере обеспечения БДД, когда проблема с аварийностью стоит достаточно остро, возросли требования к анализу причин ДТП, традиционные подходы к таким видам работ являются недостаточными.

Все это диктует необходимость совершенствования методов анализа причин ДТП, использование экономически обоснованных методов анализа аварийности и выбора эффективных комплексов мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, при этом все больше возрастает роль математических методов исследования сложных транспортных систем, которые взаимодействуют с более сложными экономическими и социальными системами.

**Глава 1. Организация и обеспечение дорожного движения
в автотранспортных предприятиях, их влияние на безопасность
дорожного движения**

1.1. Особенности организации и обеспечения дорожного движения

**1.1.1. Организация и обеспечение дорожного движения в автотранспортных
предприятиях**

Безопасность дорожного движения определяется свойствами системы В-ТС-Д и проявляется только при практическом выполнении дорожного движения. Поэтому рассмотрим основные этапы деятельности автотранспортных предприятий (АТП). Деятельность автотранспортных предприятий (АТП) включает три основных этапа изображенных на рисунке 1.1:

- организацию дорожного движения;
- выполнение дорожного движения (рейса);
- подведение результатов дорожного движения.

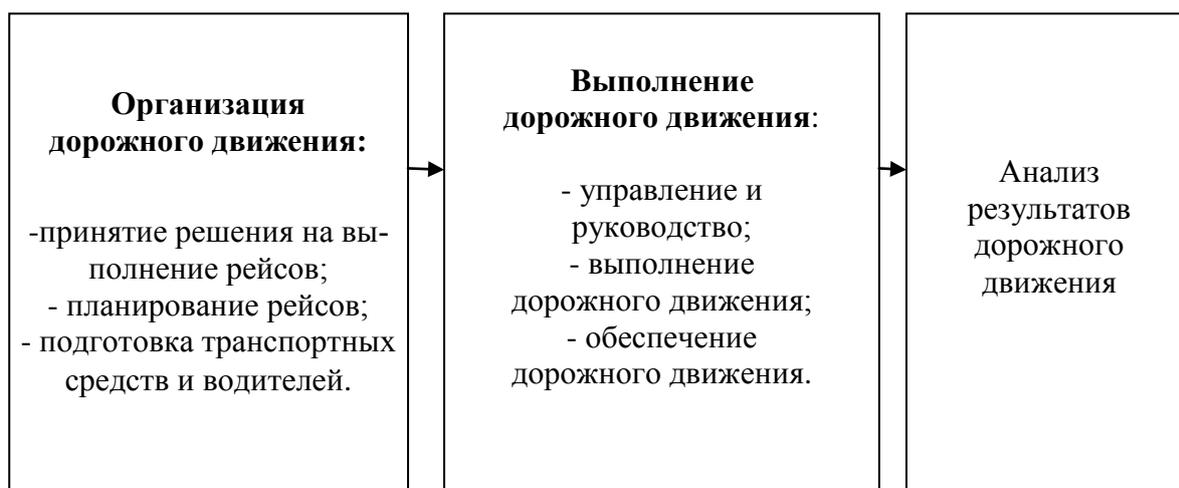


Рисунок 1.1 – Этапы деятельности автотранспортных предприятий в обеспечении безопасности дорожного движения

Организация дорожного движения является подготовительным, наиболее трудоемким этапом, включающим принятие решения на выполнение рейсов движения, планирование рейсов и подготовку к ним.

Решение о проведении рейсов принимается руководителем предприятия исходя из задач, стоящих перед АТП, наличия и готовности транспортных средств, средств управления и обеспечения дорожного движения, подготовки водительского состава и располагаемого времени на подготовку к выполнению рейсов. Планирование рейсов осуществляется руководящим составом АТП которое предусматривает составление наряда, постановку задач инженерно-техническим работникам на выполнение всех рейсов. Подготовка к выполнению рейсов, организуемая отделом перевозок, включает подготовку водителей, диспетчерской службы, транспортных средств, средств управления и обеспечения дорожного движения.

Выполнение дорожного движения является основным этапом деятельности АТП, в процессе которого водители осуществляют непосредственное выполнение рейсов. На этом этапе осуществляется управление и руководство дорожным движением и их обеспечение. Управление дорожным движением включает действия начальников колонн и отделов по планированию, координированию, обеспечению дорожного движения. Руководство выполнением рейсов осуществляет диспетчерская служба по четкому, надежному и непрерывному регулированию движения АТС с целью успешного выполнения рейсов и обеспечения БДД.

Для обеспечения надежной работы транспортных средств, эффективного ее применения в процессе выполнения дорожного движения, для предотвращения появления особых ситуаций и обеспечения безопасности дорожного движения, случае их возникновения организуются инженерные, метеорологические, медицинские виды обеспечения дорожного движения. Особое значение имеет инженерное обеспечение, которое осуществляет инженерной службой предприятия. Как известно, в задачу инженерного обеспечения входит содержание транспортных средств в исправности, грамотная техническая эксплуатация, своевременная подготовка техники к выходу в рейс и надежное её сбережение. Организует обеспечение главный инженер, который производит расчет

сил и средств на подготовку ТС и обеспечение дорожного движения. Руководство работой личного состава при подготовке ТС и во время их выполнения непосредственно осуществляют мастера и начальники колонн.

Подведение итогов (день безопасности дорожного движения) является заключительным этапом выполнения дорожного движения. На нем подводятся итоги деятельности АТП, оценивается качество выполнения работы, обеспечения БДД, ставятся задачи с целью повышения качества БДД. Подведение итогов является важным этапом деятельности АТП.

Высокое качество выполнения рейсов, обеспечение безаварийной деятельности АТП возможно только при правильной организации и качественном выполнении дорожного движения, квалифицированном его анализе.

1.2. Элементы системы

«Водитель – транспортное средство – дорога»

Специфические особенности проблемы безопасности дорожного движения определяются совокупностью взаимодействующих в условиях окружающей среды таких элементов системы как «Водитель – транспортное средство – дорога» что обычно выражается формулой В – ТС – Д.

На уровень безопасности движения существенное влияние оказывает и такая составляющая часть системы, как пешеход. Согласно статистике, виновность пешеходов в ДТП достигает 35% и более. Тем не менее, система безопасности дорожного движения должна строиться на обеспечении высокого уровня безопасности ее составляющих — В – ТС – Д. Этим нисколько не уменьшается важность и роль многоплановой работы, проводимой с пешеходами, и в особенности с детьми. Составляющие системы В – ТС – Д должны удовлетворять высокому уровню требований безопасности движения. Значение каждого из элементов системы В – ТС – Д в обеспечении безопасности движения различно, но только совершенствуя каждый элемент, можно обеспечить безопасность движения в целом. К каждому элементу предъявляют соответствующие требования по безопасности, регламентируемые нормативными документами (ГОСТ, ОСТ).

Отечественный и зарубежный опыт работы автотранспорта свидетельствует о неодинаковом удельном весе в проблеме безопасности движения каждого из элементов системы В – ТС – Д.

Судебная автотехническая экспертиза, выполненная ведущими автомобильными институтами страны, показала, что из-за технических неисправностей автомобилей происходит около 14% ДТП, а не 3 – 5%, показываемых статистикой. Если же вспомнить о некоторых конструктивных и технологических несовершенствах, все еще имеющих у автомобилей, то упомянутый показатель (14%) будет повышен. Если проанализировать информацию о ДТП в зимний период на скользких дорогах, то можно установить, что большинство происшествий происходит из-за заноса автомобиля на скользкой дороге, складывания автопоезда, отказа рулевого управления и т. д. При оснащении тормозной системы автомобилей антиблокировочной системой (АБС) количество ДТП значительно уменьшится.

Плохая сцепляемость шин с дорогой из-за недостаточной ширины профиля покрышки, неоптимальный рисунок протектора для данных дорожных условий, отсутствие шипов и другие недостатки современного автомобиля также влияют на количество ДТП. Не обеспечивает безопасности и конструкция автомобильной фары, ослепляющей водителей и недостаточно освещающей дорогу. Пункт 10.1 Правил дорожного движения обязывает водителя обеспечивать безопасность движения в любых условиях путем выбора соответствующей скорости вплоть до полной остановки транспортного средства. Но как раз современный тормоз в таких сложных условиях при снижении скорости может оказать водителю не помощь, а большой вред, если им неумело пользоваться.

Выше были изложены основные положения по влиянию на безопасность дорожного движения автомобиля (АТС). Однако доминирующую роль в системе безопасности играет водитель – более 70% происшествий являются следствием неправильных действий водителя.

Какими основными качествами должен обладать водитель для того, чтобы обеспечить безопасность своего участия в дорожном движении? Прежде всего, водитель должен быть пригодным к управлению транспортным средством с точки зрения своего психофизиологического состояния, иметь необхо-

димые навыки управления и твердое знание Правил дорожного движения, получаемое в результате специальной подготовки; иметь желание соблюдать установленный порядок, т. е. обладать такими личными качествами, которые исключали бы проявление пренебрежения, эгоистического отношения к интересам других участников движения.

Основной причиной ДТП по вине водителя, как показывает анализ, является нежелание водителя соблюдать установленный порядок. Недисциплинированность является причиной 80% ДТП по вине водителя. Другие факторы, например несоответствие профессиональной подготовки (недостаточный опыт) к нестандартным ситуациям дорожного движения, в которые внезапно попадает водитель, или снижение психофизиологических возможностей в результате усталости, значительно реже бывают причинами ДТП. Статистика свидетельствует, что чаще всего ДТП — результат управления автомобилем в нетрезвом состоянии, превышения скорости движения, нарушения правил обгона, выезда на полосу встречного движения, пренебрежения правилами проезда перекрестков, железнодорожных переездов.

Фактор «Водитель» несравним с факторами (ТС и Д) в системе безопасности движения в силу своей сложности, специфики и важности в обеспечении надежности работы водителя.

Надежность работы водителя — способность правильно и своевременно оценивать создавшуюся дорожно-транспортную ситуацию и реагировать на ее изменения в течение рабочего дня. В автотранспортных предприятиях повышением уровня надежности работы водителя занимаются соответствующие службы и общественные организации, руководствуясь при этом различными документами, опытом работы, рекомендациями.

Безопасность движения во многом зависит от дорожных условий, требующих дальнейшего улучшения. Их влияние на БД значительно большее, чем показывает статистика (8%). Значение конструкции дороги, ее технических параметров и состояния для безопасности движения трудно переоценить. К сожалению, создание обширной сети первоклассных дорог на огромной территории нашей страны с очень разнообразным климатом и рельефом местности с учетом высокой стоимости их строительства и дорожных сооружений

потребуется много времени. Один километр дороги первой категории в зависимости от рельефа местности стоит многие миллионы рублей. Трудно обеспечить в ограниченные сроки массовое строительство дорог, хотя государство и уделяет этому вопросу большое внимание так как дальнейшее строительство сети дорог дает огромный экономический, социальный, культурный эффект с одновременным повышением уровня безопасности дорожного движения особенно в сельской местности. Исследования показывают, что многие технические параметры дороги влияют на безопасность движения: интенсивность движения, ширина полосы закругления, разделительная полоса, величина радиусов закругления, видимость, подъемы и др. Но еще большее влияние на безопасность, как показывает опыт, оказывает состояние дорог, особенно в неблагоприятных погодных условиях. Факторы, влияющие на состояние дороги: ровность дорожной одежды, скользкость (величина коэффициента сцепления), состояние обочин, уменьшение ширины полосы движения, обустройство дороги, обеспечение видимости и другие.

Сегодня многие дороги не соответствуют интенсивности движения транспортных потоков. Поэтому большое значение имеет содержание дорог, особенно в осенне-зимний период. Порядок эксплуатации автомобильных дорог регламентируется различными нормативными актами. В них определяют обязанности дорожных органов по содержанию проезжей части дорог в пригодном для безопасного движения состоянии. Сложные условия интенсивного движения с большим количеством пассажирских перевозок требуют четкого выполнения требований текущего содержания дорог. Задачи работников службы эксплуатации АТП, безопасности движения по контролю дорожных условий определены в официальных руководящих нормативных документах.

Ниже приводятся сущность и содержание некоторых направлений работы в АТП по управлению обеспечению безопасности движения, взятые из опыта работы. Анализ этого опыта позволил выделить восемь основных типов управления по обеспечению БДД.

Административно-контролирующий тип. Характеризуется большим объемом контроля, за работой водителей на линии и в условиях АТП. Осно-

ван на формировании у водителей установки строго соблюдать нормативы, регламентирующие процессы дорожного движения и подготовки к рейсу путем фиксации в их сознании факта, что они находятся под постоянным наблюдением и любые отклонения от нормативов будут немедленно выявлены и повлекут за собой жесткую дисциплинарную ответственность. Отличается высокой трудоемкостью и повышенным риском возникновения конфликтных ситуаций.

Профессионально-педагогический тип. Базируется на большом объеме работы по повышению квалификации водителей. Основная цель — добиться уменьшения риска вовлечения водителей в ДТП путем повышения технического мастерства вождения и обучения действиям для выхода из критических дорожно-транспортных ситуаций. Большое внимание также уделяется изучению водителями ПДД и применению современных технических средств обучения, информации и пропаганде.

Производственно-гигиенический тип. Характеризуется большим вниманием руководства АТП к совершенствованию условий труда водителей, режиму их отдыха и питания, эстетике предприятия, улучшению социально-бытовых условий водителей и других работников предприятия. Основная цель — создание психологического комфорта и улучшение эмоционального состояния водителей, формирование установки на дисциплинированную и безопасную работу. Обладает высокой надежностью, но требует значительных затрат и организационной напряженности. Сопровождается повышением эффективности перевозок и снижением текучести водительских кадров.

Медико-биологический тип. Заключается в высоком медицинском обслуживании водителей. Основная цель — снижение риска ДТП за счет улучшения состояния здоровья водителей и оптимизации их психофизиологических характеристик. Сопровождается снижением заболеваемости и повышением эффективности перевозок. Требуется значительных затрат и решения кадровых и организационных вопросов медицинского обслуживания в АТП.

Экономический тип. Основан на экономических рычагах воздействия на водителей и службы, обеспечивающие безопасность движения. Основная

цель — формирование безопасной работы за счет материальной заинтересованности. Требуется значительного поощрительного фонда и большой гибкости его использования. Может сопровождаться повышением эффективности перевозок.

Социально-психологический тип. Содержит большой объем работы по воспитанию водителей, обеспечению благоприятного морально-психологического климата в коллективе, формированию установок на высокую социальную ответственность водителя при управлении средством повышенной опасности. Основная цель — улучшение эмоционально-психологического состояния водителей, формирование внутренней потребности в повышении своей квалификации. Стимулирует психологические установки на безопасную работу и высокую социальную ответственность перед коллективом предприятия. Сопровождается снижением текучести кадров, улучшением трудовой дисциплины и повышением эффективности перевозок.

Технический тип. Характеризуется повышенным вниманием к качеству подготовки автомобилей, совершенствованию технической базы АТП, снабжению запасными частями, повышению квалификации кадров технических служб, оборудованию автомобилей дополнительными средствами, повышающими БДД. Основная цель — улучшение эмоционального состояния водителей за счет повышения уверенности в надежности транспортного средства и снижения риска возникновения ДТП в результате неисправности транспортных средств. Отличается высокими затратами и повышением эффективности перевозок за счет снижения времени простоя автомобилей в ремонте и повышении их надежности в дорожном движении.

Юридический тип. Основан на большом объеме юридической работы в АТП по защите законных интересов водителей и ведомства в случае совершения ДТП. Обеспечивает контроль, над соблюдением процессуальных норм, а также ознакомление водителей и других работников предприятия с юридическими вопросами. Обеспечивает эффективную общественную защиту водителей, совершивших ДТП, в процессе судопроизводства. Основная цель — мини-

мизировать количество ДТП, совершенных по вине автотранспортного предприятия как юридического лица.

Ни один из приведенных видов работы по предотвращению ДТП в АТП в чистом виде не применяется, но если предприятие работает долгое время без ДТП, то в нем выделяется несколько из перечисленных типов направлений работы. Анализируя содержание каждого из приведенных типов направления деятельности АТП по предупреждению ДТП, можно прийти к выводу, что наиболее эффективно работа по предупреждению ДТП будет выглядеть в случае организации ее с использованием содержания основных мероприятий всех типов направлений с учетом конкретных условий деятельности и возможностей АТП.

1.3. Методология исследования и обеспечения безопасности дорожного движения

Уровень безопасности дорожного движения определяется свойствами системы «Водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС), которая и является объектом исследования безопасности дорожного движения. В общем случае, или как принято говорить «в большом», система ВАДС включает в себя следующие взаимодействующие между собой системы, которые показаны на рисунке 1.2.

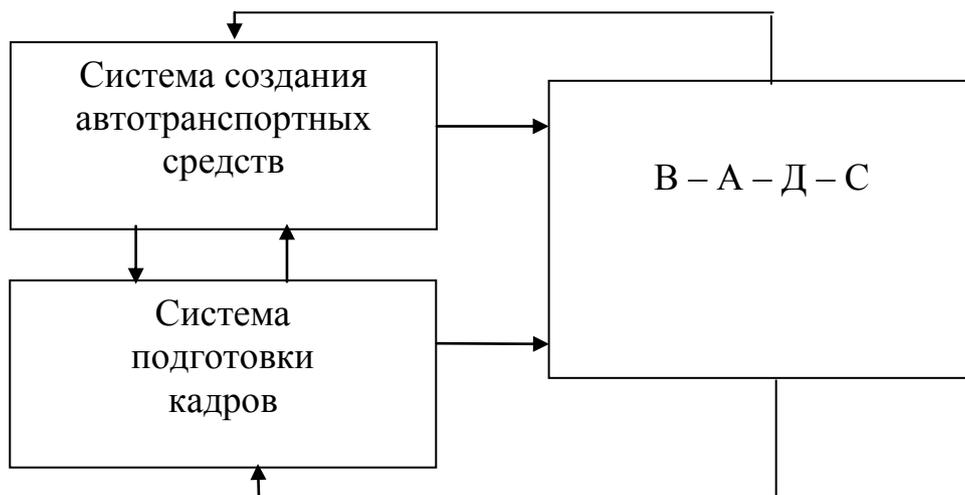


Рисунок 1.2 – Взаимодействие систем в обеспечении безопасности

дорожного движения

- систему проектирования, создания и производства автотранспортных средств;
- систему подготовки кадров (инженеров автотранспортного профиля, водителей, автомехаников и автослесарей и другого обслуживающего транспорт персонала;
- систему организации, выполнения и обеспечения безопасности дорожного движения.

Поскольку безопасность дорожного движения и эффективность использования автотранспортных средств (АТС) проявляется только при практическом выполнении дорожного движения (рейса), то под системой ВАДС обычно принято понимать систему организации, выполнения и обеспечения безопасности дорожного движения, которой является самостоятельно функционирующее автотранспортное предприятие (АТП). При этом необходимо отчетливо представлять, что уровень безопасности закладывается при создании АТС, который в зависимости от качества подготовки кадров, сложности выполняемых задач может быть лучше или хуже реализован в процессе функционирования системы ВАДС. Дорожное движение представляет собой последовательный переход от одной дорожной ситуации (характеризуемой режимом движения, режимами работы отдельных систем, внешними условиями и психофизиологическим состоянием водителя) к другой. Множество дорожных ситуаций состоит из двух подмножеств: нормальных (штатных) и опасных (особых, нештатных) ситуаций. При возникновении особой (опасной) ситуации, вызванной каким-либо неблагоприятным фактором, водитель стремится устранить последствия этого воздействия. В некоторых случаях возникшая опасная ситуация может последовательно переходить от одной опасной ситуации к другой, пока движение закончится благополучным или неблагополучным исходом. Дорожно-транспортное происшествие есть результат выхода АТС на предельные значения определяющих параметров в

результате развития опасной ситуации. Поскольку частота этого выхода характеризует уровень безопасности транспортных работ, то предметом исследования безопасности транспортных работ являются закономерности возникновения и развития опасных ситуаций, их причины, мероприятия по предупреждению и ослаблению их воздействия.

Задачей безопасности дорожного движения является разработка методологии выявления закономерностей появления и развития опасных ситуаций, разработка критериев и методов оценки их влияния на уровень безопасности с конечной целью управления этим уровнем. В этом смысле безопасность дорожного движения является одной из самых практических теорий.

Система ВАДС, являющаяся объектом исследования безопасности транспортных работ, представляет сложную человеко-машинную систему. Поэтому научной основой безопасности является теория эргатических систем, свойства которых определяются не только свойствами отдельно взятых технических устройств и людей, образующих эту систему, но и соответствия свойств техники возможностям человека, их согласованностью и социальными аспектами взаимодействия людей. Отсюда следует, что для исследования качества функционирования системы ВАДС необходимо, во-первых, глубокое изучение свойств отдельных элементов этой системы, во-вторых, разработка методов исследования совместного функционирования всех элементов системы ВАДС, выявление факторов, снижающих устойчивость этого функционирования, и на этой основе разработка эффективных мероприятий по обеспечению безопасности. При анализе функционирования системы ВАДС необходимо учитывать следующие её особенности.

1. В процессе функционирования системы ВАДС структура связей между отдельными её элементами может непрерывно меняться, образуя новые функциональные подсистемы.

2. Иерархичность и непостоянство структуры системы ВАДС и изменение её параметров в процессе функционирования не позволяют использовать постоянное управление системой, требуя его непрерывного корректирования. Для обеспечения безопасности эта корректировка проводится в разработке и

реализации профилактических мероприятий, включающих совершенство техники, методов её эксплуатации и применения.

3. Сложная иерархическая структура системы ВАДС, активное участие человека в её управлении, стохастичность функционирования приводят к тому, что в ней появляются свойства, не присущие входящим в её состав изолированным подсистемам и элементам.

В качестве основного метода исследования безопасности движения используется системный метод, сущностью которого является всесторонний учет имеющихся взаимосвязей между отдельными подсистемами и звеньями системы ВАДС, глубокое изучение причинно-следственных связей между ними. Учитывая стохастичность функционирования системы ВАДС и, вследствие этого, случайность возникновения опасных ситуаций, неизбежно для исследования безопасности транспортных работ применение теории вероятностей и методов математической статистики.

Использование системного подхода требует унификации в описании параметров различных подсистем, так как выходные параметры одних подсистем являются входными для других. При этом не все связи между подсистемами могут быть описаны аналитически. Некоторая (доминирующая) часть из них имеет логическую связь, что вносит ряд особенностей в описания свойств системы ВАДС и исследование её функционирования. Большое число параметров, определяющих безопасность транспортных работ, делает задачу не только количественной, но и качественной оценки безопасности движения большой размерности. Для снижения размерности общую систему ВАДС необходимо разбить на ряд подсистем. Такое решение позволяет выделить главную подсистему (звено), от качества функционирования которой зависит уровень безопасности движения.

Главным звеном системы ВАДС является звено «Водитель – автомобиль», от свойств которого зависит возможность благополучного завершения дорожного движения. Поэтому при оценке безопасности движения с помощью вероятностных показателей основная трудность возникает в математическом описании действий водителя по целенаправленному управлению транспортным средством и устранению последствий воздействия неблагоприятных факторов.

Это связано с тем, что действия водителя дискретны, нестационарны, случайны, зависят от решаемых задач и психофизиологического состояния водителя. Трудность математического описания действий водителя вынуждает иногда для оценки безопасности движения привлекать методы экспертных оценок.

При оценке уровня безопасности транспортных работ с помощью статистических показателей правомочно использовать данные о дорожно-транспортных происшествиях, так как только в ДТП потенциальная опасность каждого рейса реализуется в реальное нарушение безопасности движения. Поскольку при современном уровне аварийности ДТП является частым событием, то для надежной оценки уровня безопасности движения требуется большой массив статистических данных о ДТП, что возможно получить только за определенный срок эксплуатации. Поэтому для повышения надежности оценки уровня безопасности движения, должны разрабатываться методы, которые позволяли бы использовать статистические данные не только о ДТП, но и по опасным ситуациям, массив которых на несколько порядков выше массива ДТП. Для этого требуется знать для каждой имевшей место опасной ситуации её опасность, то есть вероятность перерастания её в дорожно-транспортное происшествие, что требует глубокого изучения закономерностей развития опасных ситуаций.

Глава 2. Показатели безопасности дорожного движения и методы их оценки

2.1. Статистические и вероятностные и показатели безопасности дорожного движения

2.1.1. Статистические показатели безопасности дорожного движения

В системе обеспечения безопасности дорожного движения все больше возрастает роль математических методов исследования сложных транспортных систем, которые взаимодействуют с более сложными экономическими и социальными системами. Существующая практика анализа ограничивается, как правило, изучением динамики и структуры аварийности по различным показателям (критериям). В настоящее время в исследованиях и на практике применяют два типа показателей – статистические и вероятностные. Статистические показатели выражаются физическими величинами или отношением этих величин, получаемых по статистическим данным массовой эксплуатации.

Вероятностные показатели вычисляют методами теории вероятностей, аналитическим путем, поэтому такие показатели иногда называют аналитическими.

Статистические показатели анализа дорожно-транспортных происшествий подразделяются на общие и частные, абсолютные, удельные, относительные.

Абсолютные показатели образуются в результате накопления данных о единичных дорожно-транспортных происшествиях. Основное назначение абсолютных показателей – отражение масштабов аварийности и оценка материального ущерба от дорожно-транспортных происшествий. В практике работы при-

меняются следующие абсолютные показатели: количество дорожно-транспортных происшествий – $n_{ДТП}$ (в том числе совершенные водителями в нетрезвом состоянии), число погибших – $n_{П}$, число раненых – $n_{Р}$, количество дорожно-транспортных происшествий из-за технических неисправностей – $n_{ТС}$ и другие. Их применяют, как правило, для сравнения работы организаций за предыдущий период (месяц, квартал, полугодие, год). Абсолютные показатели аварийности обладают рядом недостатков, среди них такой, как неприемлемость сопоставительного анализа.

Удельные показатели представляют собой процентную долю одного абсолютного показателя аварийности от другого. Набор удельных показателей аварийности характеризует её структуру и позволяет сравнивать различные регионы, транспортные предприятия между собой. Наиболее часто используют следующие показатели:

- удельный вес отдельных видов дорожно-транспортных происшествий, совершенных в общем количестве дорожно-транспортных происшествий или в количестве дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств отдельных видов (грузовых, легковых, автобусов, тракторов и других);

- удельный вес столкновений, опрокидываний, наездов, дорожно-транспортных происшествий других видов в общем их количестве, либо дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств других видов;

- удельный вес дорожно-транспортных происшествий в городах, других населенных пунктах, на автомобильных дорогах в общем количестве дорожно-транспортных происшествий, либо дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств других видов;

- удельный вес дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств отдельных видов в общем количестве дорожно-транспортных происшествий;

- удельный вес дорожно-транспортных происшествий из-за превышения скорости, нарушений правил обгона, несоблюдения очередности проезда и других причин в общем объеме дорожно-транспортных происшествий;

– коэффициент виновности водителей как отношение количества дорожно-транспортных происшествий, возникших по вине водителей, к общему количеству дорожно-транспортных происшествий;

– удельный вес пострадавших (погибших или раненых) пешеходов, велосипедистов, пассажиров, водителей, женщин и других участников дорожного движения в общем числе пострадавших (погибших или раненых) и другие.

Относительные показатели образуются делением одного показателя на другой. Они дают возможность сравнивать работу регионов, предприятий и организаций для сопоставления уровня аварийности в определенные периоды времени.

При анализе наиболее часто используют такие относительные показатели:

– показатели, характеризующие процесс автомобилизации, например (численность транспортных средств на 100 тыс. жителей страны, региона и другие);

– показатели, характеризующие уровень аварийности по отношению к численности парка транспортных средств (число погибших на 10 тыс. транспортных средств);

– показатели, характеризующие уровень аварийности к численности населения (число погибших на 100 тыс. населения);

– показатели, характеризующие уровень аварийности по отношению к транспортной работе (число погибших или раненых на 1млн. км.). Кроме того часто пользуются относительными показателями, определяющими тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий. Это число пострадавших на 100 дорожно-транспортных происшествий, число погибших на 100 пострадавших.

В 1938 г. Ф. Ренольдом предложен показатель последствий дорожно-транспортных происшествий:

$$U = \sum P_i \times n_i, \quad (2.1)$$

где U – показатель аварийности;

P_i – коэффициенты тяжести происшествий;

N_i – количество происшествий каждого типа.

Среди показателей наиболее часто используются:

а) коэффициенты относительной опасности:

$$K_1 = \frac{M \sum_{i=0}^n R_i \times K_i}{A \sum_{j=0}^m N_j \times l_j}; \quad K_2 = \frac{M \sum_{i=0}^n R_i \times K_i}{N_j \times l_j};$$
$$K_3 = \frac{M \sum_{i=0}^n R_i \times K_i}{l_j}; \quad K_4 = \frac{M \sum_{i=0}^n R_i \times K_i}{B \times P}, \quad (2.2)$$

где $K_{1,2,3,4}$ – коэффициенты относительной опасности;

R_i – количество ДТП по отдельным видам в год;

K_i – тяжесть последствий ДТП по отдельным видам в год;

M – коэффициент размерности;

A – количество жителей в районе;

N_j – объемы движения транспорта в приведенных единицах авт./ч;

L_i – длина улиц проходящих по району, км;

B – число жителей в регионе, млн.;

P – площадь региона, км².

б) показатель относительной аварийности:

$$K_a = \frac{N_{\text{ДТП}} \times 10^6}{L}, \quad (2.3)$$

где $N_{ДТП}$ – количество дорожно-транспортных происшествий за рассматриваемый период времени;

L – суммарный пробег за рассматриваемый период времени, км.

Анализ статистических данных выявляет причины дорожно-транспортных происшествий как обобщенно по элементам системы «Водитель – транспортное средство – дорога – среда», так и детально в разрезе каждого элемента. С помощью этих данных устанавливают влияние на безопасность самых разнообразных факторов: времени года, суток, дней недели и месяцев, погодных условий и периода суток, состояния дорожных условий и технического состояния транспортных средств, возраста водителя и его дисциплинированности, режима и стажа его работы. Изучение статистических данных дает количественную оценку состояния работы по предупреждению дорожно-транспортных происшествий и позволяет наметить цели, пути и методы по ее совершенствованию.

Статистические показатели вычисляются по реальным данным массовой эксплуатации, их главное достоинство – объективность, но вместе с этим статистические показатели имеют ряд недостатков, сужающих область их практического использования. К ним можно отнести следующие:

– оценку уровня аварийности по статистическим показателям производят тогда, когда дорожно-транспортное происшествие уже произошло, то есть регистрируют прошлые факты;

– не учитывают условия эксплуатации, применения транспортных средств, в которых происходят дорожно-транспортные происшествия. Это не даёт возможность применять статистические показатели для прогноза безопасности дорожного движения на будущее при изменении условий эксплуатации;

– невозможность оценки эффективности различных организационных и технических мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения с учётом стоимости и эффективности, ещё до их практической реализации;

– невозможность выявления влияния на уровень безопасности дорожного движения какого-либо конструктивного параметра транспортного средства, оптимизации уровня безопасности дорожного движения с учётом стоимости и эффективности.

Перечисленные недостатки статистических показателей принципиально устранимы или могут быть компенсированы использованием второго типа показателей – вероятностных.

2.1.2. Вероятностные показатели безопасности дорожного движения

Теория вероятностей в обеспечении безопасности движения использовалась в научных работах многих отечественных и зарубежных ученых: В.В. Амбарцумяна, В.Г. Галушко, В.М. Кислякова, Г.И. Клинковштейна, Н.В. Смирнова, В.С. Шкрабака, И.А. Школяренко, М.Н. Усмановой, В.В. Филлипова.

В частности, в своих трудах, В.В. Амбарцумян, В.С. Шкрабак используют теорию вероятностей для расчета надежности и безопасности системы «Водитель–автомобиль–дорога–среда».

В.Г. Галушко предлагает использовать в оценках обеспечения безопасности движения закон Пуассона; биномиальное распределение величин; нормальный закон распределения Гаусса - для оценки скорости движения автомобилей; распределение Грама-Шарлье; логарифмическое нормальное распределение – для определения продолжительности рейса; гамма распределение – для определения числа шин с постоянным давлением за время пробега; распределение Эрланга – для определения протяженности пути; показательное распределение – для определения объема груза на складах; распределение Релея – для определения удельных износов задних тормозных накладок; распределение Максвелла – для определения скорости движения, при которой были совершены дорожно-транспортные происшествия.

О.А. Новиков, В.Н. Уваров предлагают использовать теорию вероятностей при определении средней скорости движения, расчета среднего расхода

топлива, оценить влияние надежности на работу автомобиля, а также для организации технического обслуживания и ремонта автомобилей.

В.М. Кисляков, В.В. Филлипов, И.А. Школярченко для оценки дорожно-транспортных ситуаций (виды маневров и безопасность движения, критерии оценки безопасного выполнения маневра); оценку ситуаций пересечения автомобильных потоков одиночным автомобилем или пешеходом; оценку ситуации выполнения маневра при регулируемом движении.

В.Я. Волошин, В.П. Романов в анализе дорожно-транспортных происшествий по местам возникновения, анализе пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях, анализе эффективности оказания медицинской помощи, анализе дорожно-транспортных происшествий, произошедших из-за технических неисправностей транспортных средств и их конструктивных недостатков.

Вероятностные показатели безопасности движения объективно отражают такую закономерность, что дорожно-транспортное происшествие – потенциально возможный исход конкретного дорожного движения (транспортного рейса) – является по своей природе случайным событием в силу случайности возникновения во времени и пространстве движения неблагоприятных факторов, вызывающих его.

Примем за уровень безопасности выполнения отдельного рейса вероятность P благополучного его завершения. Вероятность неблагоприятного завершения рейса (уровень риска) обозначим Q . Из физических соображений ясно, что

$$P + Q = 1 \quad (2.4)$$

Вероятности P и Q являются показателями безопасности рейса. Исходя из формулы (2.4) для оценки безопасности одного рейса или уровня риска достаточно знать одну из указанных вероятностей, например, Q .

Безопасность выполнения множества рейсов всецело определяется безопасностью выполнения отдельных рейсов. Формализуем связь понятий “безопасность движения” и “безопасность одного рейса”. Если Q – уровень риска в

отдельном рейсе, то для множества N рейсов в качестве такого же смыслового критерия может быть принята вероятность Q_n , то есть вероятность того, что в N рейса произойдет n ДТП ($n=0, N$). Будем полагать, что все рейсы идентичны по безопасности их выполнения, то есть $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q$. При этом предположении для вычисления вероятности Q_n можно воспользоваться частной теоремой теории вероятностей о повторении опытов, в соответствии с которой связь Q_n и Q будет определяться биномиальным распределением:

$$Q_n = C_N^n \cdot Q^n \cdot (1 - Q)^{N-n}, \quad (2.5)$$

где

$$C_N^n = \frac{N!}{n! \cdot (N - n)!} \quad (2.6)$$

Реально всегда выполняются условия $Q \ll 1$ и число рейсов N достаточно велико. В соответствии с этим с достаточной степенью точности для упрощения вычислительных процедур биномиальное распределение (2.5) может быть заменено пуассоновским распределением вероятностей:

$$Q_n = \frac{(N \cdot Q)^n}{n!} \cdot e^{-N \cdot Q} \quad (2.7)$$

Для вероятности благополучного завершения всех N рейсов, полагая в формуле (2.7) $n = 0$ получим:

$$P_{БД} = Q_0 = e^{-N \cdot Q} = e^{-N \cdot (1-P)} \quad (2.8)$$

Вероятность $P_{БД}$ по смыслу является показателем безопасности движения и, следовательно, формула (2.8) является математическим выражением показателя безопасности движения $P_{БД}$ через показатель безопасности одного рейса P . Рассматриваемое в распределении (2.7) число рейсов N реализуется за суммарное время движения t_{Σ} , так что $N = t_{\Sigma}/t_n$, где t_n – продолжительность одного рейса. Учитывая, что в одном рейсе более одного дорожно-транспортного происшествия произойти не может, математическое ожидание числа дорожно-

транспортных происшествий на отрезке времени t_n формально можно записать в виде $\Lambda t_n = Q$, где Λ – интенсивность потока дорожно-транспортных происшествий, то есть среднее число дорожно-транспортных происшествий в единицу времени движения. Для всех N рейсов математическое ожидание числа дорожно-транспортных происшествий будет определяться: $m_n = N \cdot Q = \Lambda t_n N = \Lambda t_\Sigma$ и соответственно распределение (2.7) можно записать в виде:

$$Q_n = \frac{(m_n)^n}{n!} e^{-m_n} = \frac{(\Delta t_\Sigma)^n}{n!} e^{-\Delta t_\Sigma} \quad (2.9)$$

Поток дорожно-транспортных происшествий, описываемый распределением (2.9), является простейшим, то есть обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия. Для такого потока время t между двумя соседними событиями (дорожно-транспортными происшествиями), как известно из теории вероятностей, распределено по показательному закону с плотностью вероятностей:

$$f(t) = \Lambda e^{-\Lambda t} \quad (2.10)$$

Применяя к выражению (2.10) операцию определения математического ожидания, вычисляем среднюю продолжительность рейса на одно дорожно-транспортное происшествие:

$$T_{ДТП} = m_t = \Delta \int_0^{\infty} t e^{-\Lambda t} dt = \frac{1}{\Lambda} \quad (2.11)$$

Используя результат (2.11), запишем распределение (2.9) в виде:

$$Q_n = \frac{\left(\frac{t_\Sigma}{T_{ДТП}}\right)^n}{n!} e^{-\frac{t}{T_{ДТП}}} \quad (2.12)$$

При $n = 0$ получим выражение для показателя безопасности движения:

$$P_{БД} = e^{-\frac{t_{\Sigma}}{T_{ДТП}}} \quad (2.13)$$

Формула (2.13) определяет связь вероятностного показателя безопасности движения со статическим показателем – средней продолжительности рейса на одно дорожно-транспортное происшествие. Из сопоставления формул (2.8) и (2.13) заметим, что

$$Q = \frac{t_{\Sigma}}{NT_{ДТП}} = \frac{t_n}{T_{ДТП}} \quad (2.14)$$

Связь между вероятностными и статистическими показателями безопасности движения даёт возможность решать ряд практических задач. В частности: определить соответствие фактического уровня безопасности движения заданному; описать наиболее слабые места в безопасности движения; оценить эффективность различных мероприятий, направленных на повышение безопасности движения и другие.

2.2. Методы количественной оценки безопасности дорожного движения

2.2.1. Общий подход к оценке безопасности дорожного движения с помощью вероятностных показателей

В настоящее время для анализа проблем аварийности и транспортного травматизма используются различные методы. В частности В.С. Шкрабак и В.В. Амбарцумян предлагают использовать количественные, количественно – качественные (смешанные), интуитивно – логические и другие методы.

Количественные методы служат для выявления структуры и динамики дорожно-транспортных происшествий, основанные на теории вероятностей и математической статистики, теории информатизации, многофакторном анализе, теории надежности, теории риска, алгебре логики и теории цифр, моделирования, программирования и на других математических методах.

Количественно – качественные (смешанные) методы анализа позволяют раскрыть механизм возникновения, характерные особенности и социальную природу дорожно-транспортных происшествий. К этим методам относятся психофизиологические, эргономические, медико – биологические, криминологические, уголовно – правовые и социологические методы.

В интуитивно – логические методы входят такие анализы: системный анализ, морфологический анализ, метод сценариев, метод «Дельфи», имитационный метод и другие. Они служат для обоснованного принятия оптимальных решений по организации и обеспечению безопасности движения (рисунок 2.1.) .

Особое место в изучении проблем обеспечения безопасности движения отводится вопросам анализа причин дорожно-транспортных происшествий.

В.А. Илларионов, В.И. Суковичин предлагают следующую классификацию методов анализа (рисунок 2.2).

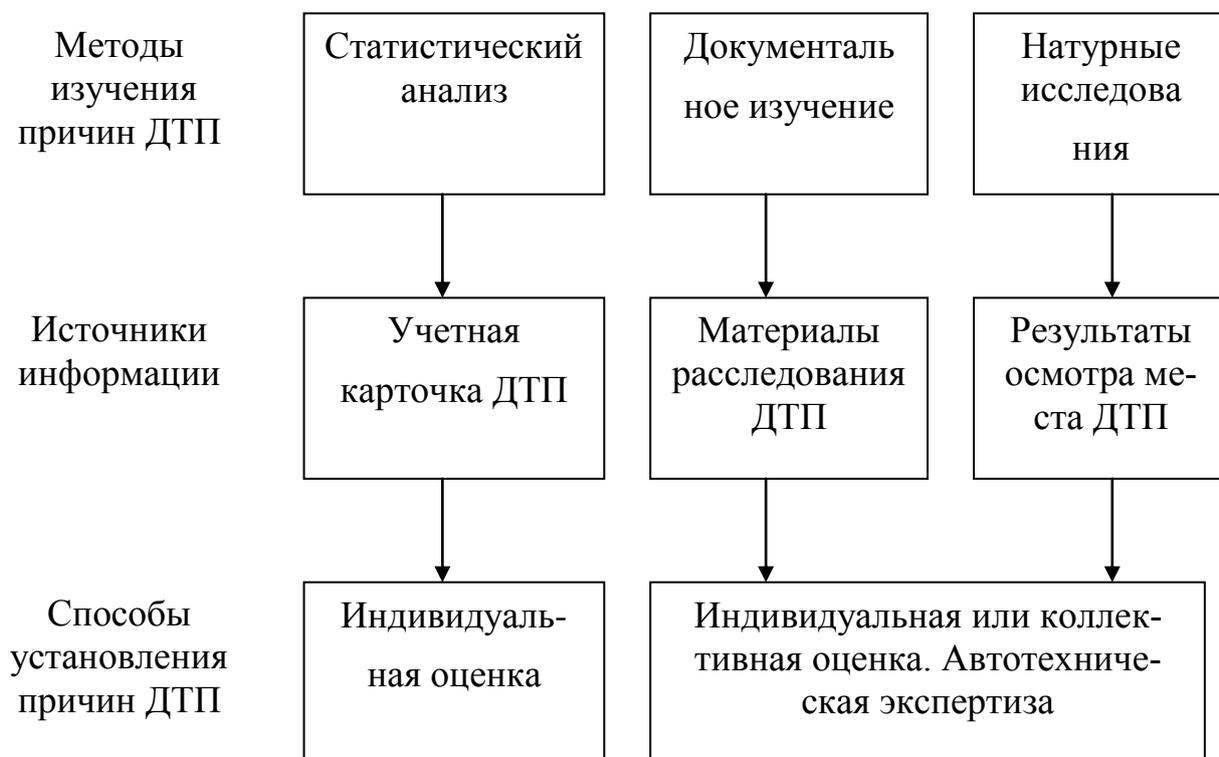


Рисунок 2.2 – Основные методы анализа аварийности

Здесь статистический анализ дорожно-транспортных происшествий основан на действующей в Российской Федерации системе учета, проводимой Государственной инспекцией безопасности дорожного движения и позволяет увидеть количественную характеристику состояния и динамику аварийности.

Отсутствие у работников Государственной инспекции безопасности дорожного движения необходимых навыков и технических средств не всегда позволяют правильно оценить причину дорожно - транспортного происшествия

в системе «Водитель – автомобиль – дорога – среда», что в итоге влияет на статистику причин дорожно-транспортных происшествий.

Неверное отражение статистикой реальной картины аварийности служит предпосылкой к снижению тех или иных мероприятий в области обеспечения безопасности движения. Достоинства метода документального изучения аварийности состоит в том, что исследователи получают данные, которых нет в статистической отчетности, например: скорость движения, действия водителя по предотвращению дорожно-транспортного происшествия, траектория движения автомобиля, пешехода и другие.

При выполнении натуральных исследований дорожно-транспортных происшествий научные работники обычно имеют возможность объективно выявить конкретные факты нарушения установленных требований к состоянию элементов системы «Водитель – транспортное средство – дорога – среда». Натурные испытания в настоящее время требуют больших финансовых затрат, поэтому исследователям приходится использовать другие методы анализа.

И.И. Талицкий, В.Л. Чугуев, Ю.Ф. Щербинин предлагают использовать для анализа причин дорожно-транспортных происшествий количественный, качественный и топографический методы анализа.

Под количественным методом подразумевается анализ данных, представленных в цифровом (числовом) виде и выполненный по формальным (математическим) правилам. Он имеет значение при решении задач прогнозирования аварийности (прогнозирования ущерба от дорожно-транспортных происшествий) в очагах аварийности, при ранжировании причин по степени опасности, тяжести последствий и ущерба от дорожно-транспортных происшествий, а

также при прогнозе эффективности мероприятий по повышению безопасности движения.

Под качественным методом подразумевается анализ данных, представленных в цифровом виде или в виде описания в произвольной форме и выполняемый как формальными, так и неформальными методами на основе опыта и знаний анализирующего человека. Качественный анализ причин дорожно-транспортных происшествий предполагает последующее их ранжирование и учет по степени серьезности опасности, частоты проявления и тяжести последствий, к которым они могут привести.

Анализ подходов при описании признаков причин дорожно-транспортных происшествий – «опасная ситуация» дает возможность провести следующую классификацию признаков причин дорожно-транспортных происшествий:

- по серьезности опасности – катастрофические, критические, предельно-допустимые, вызывающие беспокойство;
- по времени действия – длительные, временные, кратковременные;
- по вероятности проявления – неотвратимые, незначительные, умеренные, небольшие.

Топографический анализ заключается в нанесении на карту (схему) анализируемых сведений и обработке этих сведений количественным и качественным методами. Результаты топографического анализа дорожно-транспортных происшествий оформляют в виде обычной карты, линейного графика или масштабной схемы (ситуационного плана). Карта может быть выполнена в виде обычной карты города (области, района) в соответствующем масштабе. На ней условными обозначениями наносятся данные о дорожно-транспортных происшествиях. В зависимости от целей топографического анализа могут быть условно обозначены места, виды дорожно-транспортных происшествий и тяжесть последствий. В результате на карте наглядно выявляются очаги дорожно-транспортных происшествий. На этой основе можно анализировать причины их возникновения, принимать меры по устранению этих причин.

Линейный график дорожно-транспортных происшествий составляют для автомобильной дороги или ее участка. По сравнению с картой масштаб изображения укрупняют, это позволяет более подробно классифицировать дорожно-транспортные происшествия. Концентрация дорожно-транспортных происшествий на графике свидетельствует о неудовлетворительных дорожных условиях в очагах дорожно-транспортных происшествий.

Масштабную схему дорожно-транспортного происшествия выполняют в крупном масштабе. На ней с помощью символов изображают транспортные средства, участвовавшие в дорожно-транспортном происшествии, направления их движения и другие данные, имеющие отношение к дорожно-транспортному происшествию.

2.2.2. Методы расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения

Дорожно-транспортное происшествие – случайное событие. Оно может произойти при условии, что в движении появился неблагоприятный фактор и его последствия не могут быть предотвращены водителем. Неблагоприятные факторы, являясь следствием вполне конкретных причин, возникают в произвольные моменты времени, и в том заключается их случайность (рисунок 2.3)

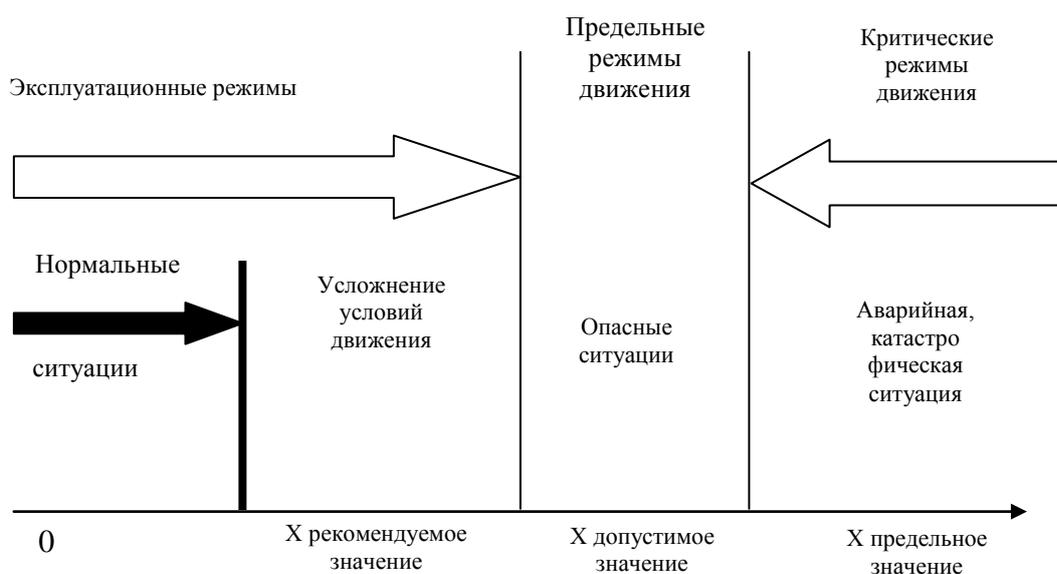


Рисунок 2.3 – Схема связи областей режимов движения,

со значением определяющего параметра

За событие предотвращения примем событие невыхода определяющих параметров x_j за свои предельные значения $x_j < x_{jПР}$, $j = 1 \dots I$. Строго говоря, событие превышения $x_{jПР}$ не всегда приводит к дорожно-транспортному происшествию. В ряде случаев после превышения $x_{jПР}$ водитель своими действиями может вернуть транспортное средство в область $x_j < x_{jПР}$. В дальнейшем для однозначности суждений выход одного или нескольких определяющих параметров за предельные значения будем полагать за неблагоприятный исход рейса (дорожно-транспортное происшествие). Обозначим: p_i , q_i и r_i – вероятности неоявления и появления i -го неблагоприятного фактора; s_i – условные вероятности предотвращения и непредотвращения его последствий. В принятых обозначениях вероятностные показатели безопасности движения будут иметь очевидные выражения:

$$\begin{aligned} Q_i &= q_i s_i; \\ P_i &= 1 - Q_i = p_i + q_i r_i. \end{aligned} \tag{2.15}$$

Вопрос о методике получения развернутых выражений для показателей Q и P с учетом воздействия на автотранспортное средство множества факторов решается в зависимости от специфики факторов и их последствий. Эта специфика может быть отражена набором признаков, показанных на рисунке 2.4.

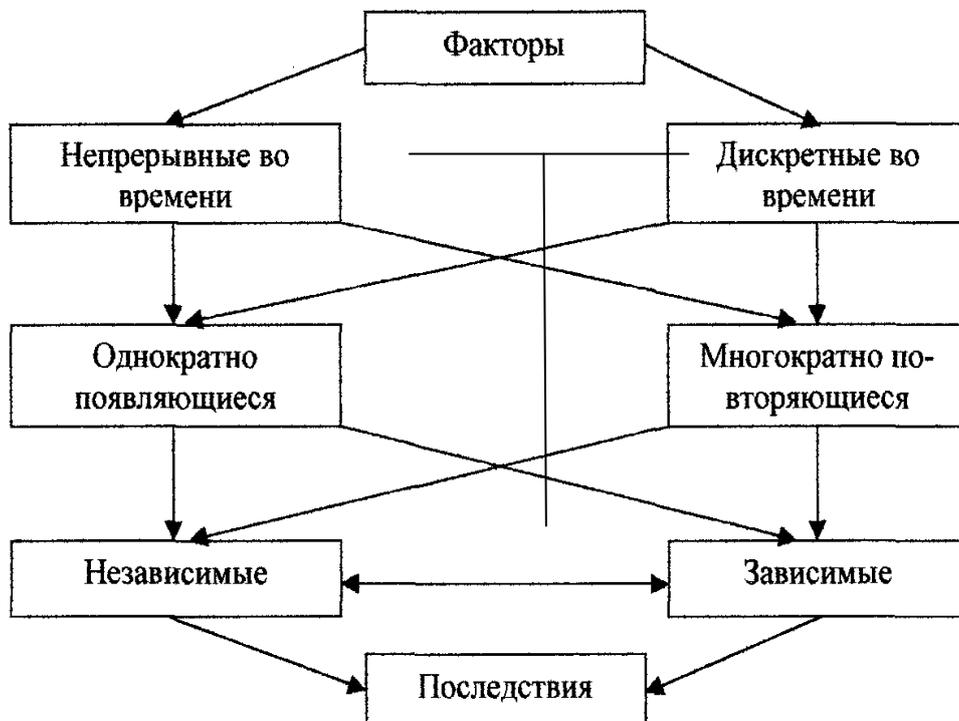


Рисунок 2.4 – Факторы, влияющие на работу транспортных средств

Вероятность появления дискретных во времени факторов не зависит от продолжительности рейса, а определяется в основном характером рейса, уровнем подготовки водителя и других.

К таким факторам, например, можно отнести ошибки водителя автотранспортного средства при выполнении маневров и перестроений автомобиля на дороге. В зависимости от специфики неблагоприятных факторов и их последствий, расчет вероятностных показателей дорожно-транспортного травматизма можно выполнить следующими методами: логико-вероятностным, методом, расчет показателей с помощью дерева (графа) состояний, использованием моделей Марковских процессов и другими.

2.2.3. Логико-вероятностный метод расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения

Метод основан на прямом вычислении вероятностных показателей безопасности дорожно-транспортного травматизма P_i и Q_i , через вероятности p_i , q_i , r_i , s_i .

Логико-вероятностный метод применим для оценки влияния на безопасность движения независимых и зависимых факторов, как дискретных, так и непрерывных, но он по своей сущности не учитывает временной последовательности событий, связанных с воздействием на АТС неблагоприятных факторов. В этом состоит ограничение на применение метода.

Математическая формулировка метода определяется принятой моделью безопасности движения, то есть условиями благополучного продолжения движения и его завершения.

Рассмотрим для иллюстрации метода две модели безопасности движения.

Первая модель – рейс выполняется в соответствии с заданием и благополучно завершается, если в движении неблагоприятные факторы не возникали, а если и возникали в любой последовательности, то водитель предотвратил их последствия.

Вторая модель – последующий этап движения выполняется в соответствии с заданием, если на предыдущем этапе не возник неблагоприятный фактор, угрожающий безопасности движения. Рейс заканчивается предыдущим этапом без ДТП, если водитель предотвратил последствия возникшего неблагоприятного фактора и ДТП, если не предотвратил.

Рассматриваемые модели безопасности по отношению к реальной практике являются предельными (оптимистичной и пессимистичной), так как все реально возникающие на практике ситуации укладываются в схемы случаев, занимающих промежуточное положение между первой и второй моделями безопасности движения.

В основу математической формулировки метода для первой модели может быть положена формула полной вероятности, предусматривающая рассмотрение всех физически возможных гипотез, связанных с появлением отдельных неблагоприятных факторов и их комбинаций.

Вероятность благополучного исхода дорожного движения при n возможных независимых неблагоприятных факторах $(1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, n)$ можно записать в виде:

$$P = P(A_0) + \sum_{i=1}^n P(A_1) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{C_n^2} P_{i,j}(A_2) + \dots + P_{i,j,\dots,n}(A_n) \quad (2.16)$$

$$i, j, \dots, n=1 \\ i \neq j \neq \dots \neq n$$

где $P(A_0)$ – вероятность того, что в рейсе не возникнет ни один неблагоприятный фактор;

$P_i(A_1), P_{i,j}(A_2)$ – вероятность того, что в рейсе возникнет точно один неблагоприятный фактор и исход рейса будет благополучен, два фактора и так далее.

Слагаемые (2.16) определяются выражениями:

$$\begin{cases} p(A_0) \dots p_1 p_2 \dots p_n \\ p_i(A_1) \dots p_1 p_2 \dots p_{i-1} p_{i+1} \dots p_n q_i r_i \\ p_{i,j}(A_2) \dots p_1 p_2 \dots p_{i-1} p_{i+1} \dots p_{j-1} p_{j+1} \dots p_n q_i q_j r_i r_j \\ p_{i,j}(A_n) \dots q_1 q_2 \dots q_n r_1 r_2 \dots r_n \end{cases} \quad (2.17)$$

Выражение (2.16) с учетом (2.17) можно преобразовать к виду:

$$P = \prod_{i=1}^n (p_i + q_i r_i) \quad (2.18)$$

В справедливости этого можно убедиться на простейшем примере, рассмотрев выражение (2.16) при $n = 2$ и потом преобразовав его к виду (2.18).

Вероятность ДТП определится из очевидного условия, что каждый последующий неблагоприятный фактор в дорожном движении физически возможен, если перед этим неблагоприятные факторы не возникали, а если и возникали, то предотвращались. В соответствии с этим

$$\begin{aligned}
Q &= q_1 s_1 + (p_1 + q_1 r_1) q_2 s_2 + \dots + (p_1 + q_1 r_1) \dots (p_{n-1} + q_{n-1} r_{n-1}) q_n s_n = \\
&= q_1 s_1 + \sum_{i=2}^n q_i s_i \prod_{f=1}^{i-1} (p_f + q_f r_f)
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Выражение (2.19), учитывая, что $r_f = 1 - s_f$ можно преобразовать к виду

$$\begin{aligned}
Q &= \sum_{i=1}^n q_i s_i - \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{c_n^2} q_i s_i q_j s_j + - \sum_{\substack{i,j,d=1 \\ i \neq j \neq d}}^{c_n^3} q_i s_i q_j s_j q_d s_d - \\
&- \dots + (-1)^{n-1} \prod_{i=1}^n q_i s_i
\end{aligned} \tag{2.20}$$

Учитывая, что вероятность возникновения в рейсе трех и более неблагоприятных факторов весьма мала, по сравнению с вероятностью возникновения одного или двух факторов, в формуле (2.16) можно ограничиться первыми тремя слагаемыми, а в формуле (2.20) – первыми двумя.

До сих пор все рассуждения, связанные с математической формулировкой метода для первой модели безопасности движения велись безотносительно того, что рейс состоит из m последовательно выполненных этапов $(1, 2, \dots, v, \dots, 1, \dots, m)$, а q_i, p_i, r_i, s_i изменяются от этапа к этапу. Будем полагать, что для каждого v т – го этапа ($v = \overline{1, m}$) известны вероятности $q_{iv}, p_{iv}, r_{iv}, s_{iv}$. Тогда, учитывая независимость друг от друга неблагоприятных факторов, к математической формулировке метода для первой модели безопасности движения можно подойти, рассматривая вероятности благополучного и неблагополучного исходов по каждому i -му фактору с учетом этапности выполнения рейса. Последовательность событий, связанных с i -м фактором по этапам рейса может быть представлена деревом состояний (графом), указанным на рисунке 2.5.

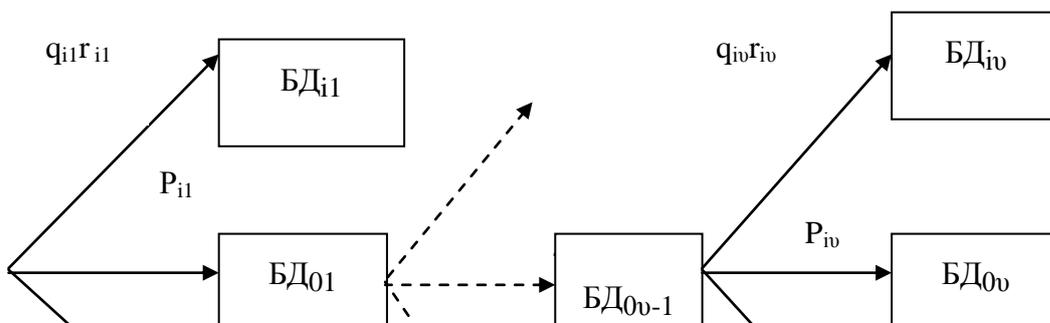


Рисунок 2.5 – Дерево состояний системы

На этом рисунке обозначено:

$БД_{ov}$ – событие отсутствия i -го фактора к моменту завершения v -го этапа рейса;

$БД_{iv}, ДТП_{iv}$ – события соответственно благополучного и неблагоприятного исходов при появлении i -го фактора на v -ом этапе рейса.

Дерево состояний графически интерпретирует многошаговый в общем случае процесс перехода системы от одного состояния к другому под воздействием неблагоприятных факторов (и в данном конкретном случае при переходе от одного этапа рейса к другому), начиная от корня дерева (начального состояния) и заканчивая его вершинами – состояниями $БД_{ov}, БД_{iv}, ДТП_{iv}$. На ветвях дерева проставляются вероятности перехода от одного состояния к другому, при этом должно соблюдаться условие: сумма вероятностей на всех ветвях, выходящих из одного состояния, должна равняться единице. Вероятности конечных состояний $БД_{ov}, БД_{iv}, ДТП_{iv}$ определяются как произведение всех вероятностей, указанных на ветвях дерева, начиная от конечного состояния и заканчивая корнем дерева.

Следуя этому правилу, определим вероятность благополучного исхода по i -му фактору для всех m этапов

$$P_i = \prod_{v=1}^m p_{iv} + \sum_{v=1}^m p_{i1} \cdots p_{iv-1} q_{iv} r_{iv} \quad (2.21)$$

Соответственно уровень риска:

$$Q_i = \sum_{v=1}^m p_{i1} \cdots p_{iv-1} q_{iv} s_{iv} \quad (2.22)$$

По всем n неблагоприятным факторам, учитывая их независимость, будем иметь:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.23)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{\substack{i,j=1 \\ i=j}}^{c_n^2} Q_i Q_j + \sum_{\substack{i,j,k=1 \\ i \neq j \neq k}}^{c_n^3} Q_i Q_j Q_k - \dots + (-1)^{n-1} \prod_{i=1}^n Q_i \quad (2.24)$$

Условие нормировки $P + Q = 1$ выполняется.

Рассмотрим математическую формулировку метода для второй модели безопасности движения. Схему развития событий, связанных с программным выполнением рейса, его прерыванием при благополучном или неблагополучном исходе при появлении 1-го фактора можно представить графом, показанным на рисунке 2.6.

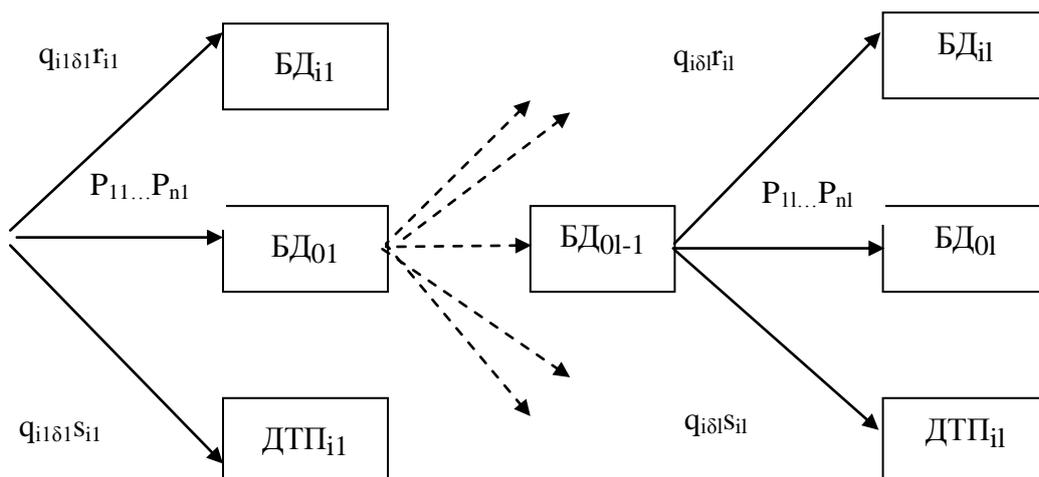


Рисунок 2.6 – Граф состояния системы

Здесь обозначено:

$БД_{01}$ – событие отсутствия неблагоприятных факторов к моменту завершения i -го этапа рейса

$БД_{il}$, $ДТП_{il}$ – события соответственно благополучного и неблагоприятного исходов при появлении i -го фактора на l -ом этапе рейса.

Вероятности этих событий для l -го этапа рейса определяются:

$$P\{БДД_{ol}\} = \prod_{v=1}^l \prod_{i=1}^n p_{iv} \quad (2.25)$$

$$P\{БДД_{il}\} = P\{БДД_{o,l-1}\} q_{il\delta} r_{il} = \prod_{v=1}^{l-1} \prod_{i=1}^n p_{iv} q_{il\delta} r_{il} \quad (2.26)$$

$$P\{ДТП_{il}\} = P\{БДД_{o,l-1}\} q_{il\delta} s_{il} = \prod_{v=1}^{l-1} \prod_{i=1}^n p_{iv} q_{il\delta} s_{il} \quad (2.27)$$

В формулах (2.26) и (2.27) $q_{il\delta}$ – безусловная вероятность появления i -

го фактора на l -ом этапе рейса

$$q_{il\delta} = q_{ol} q\left(\frac{i}{0}\right)$$

где q_{ol} – вероятность того, что на l -ом этапе рейса проявится один из n

возможных факторов

$$q_{ol} = 1 - p_{1l} p_{2l} \dots p_{nl}$$

$q\left(\frac{i}{0}\right)$ – условная вероятность того, что возникший неблагоприятный фактор будет принадлежать i -му типу.

Условная вероятность $q\left(\frac{i}{0}\right)$ может быть определена на основании формулы Байеса:

$$q\left(\frac{i}{0}\right) = \frac{q_{il}}{\sum_{i=1}^n q_{il}}$$

Показатели безопасности дорожного движения для всех m этапов рейса при сделанных выше предположениях будут определяться выражениями:

$$P = \prod_{v=1}^m \prod_{i=1}^n p_{iv} + \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\prod_{v=1}^{l-1} \prod_{i=1}^n p_{iv} \right) q_{il\delta} r_{il} \quad (2.28)$$

$$Q = \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\prod_{v=1}^m \prod_{i=1}^n p_{iv} \right) q_{il\delta} r_{il} \quad (2.29)$$

Условие нормировки $P + Q = 1$ выполняется.

2.2.4. Расчет показателей безопасности дорожного движения с помощью дерева (графа) состояний

Перебор всех возможных состояний системы при построении логической модели события безопасность дорожного движения или дорожно-транспортное происшествие может оказаться затруднительным при большом числе факторов, особенно если факторы зависимы друг от друга. Это затруднение можно обойти построением дерева состояний для рассматриваемой системы. Оно графически интерпретирует многошаговый в общем случае процесс перехода системы от одного состояния к другому, начиная от корня дерева (начального состояния) и заканчивая состояниями БД_{*i*} или ДТП_{*i*}. На ветвях дерева проставляются переходы от одного состояния к другому, при этом должно соблюдаться условие - сумма вероятностей на всех ветвях выходящих из одного состояния, должна равняться единице.

Вероятности конечных соотношений БД_{*i*} или ДТП_{*i*} определяются как произведение всех вероятностей, указанных на ветвях дерева, начиная от конечного состояния и заканчивая корнем дерева.

На рисунке 2.7 показано дерево состояний, построенное для двух зависимых факторов, второй фактор может появиться при условии, если первый уже

появился.

Принятые обозначения соответствуют p_1, q_1, r_1, s_1 – вероятность неоявления, появления, предотвращения и не предотвращения первого фактора; p_2, q_2, r_2, s_2 – аналогично для второго фактора.

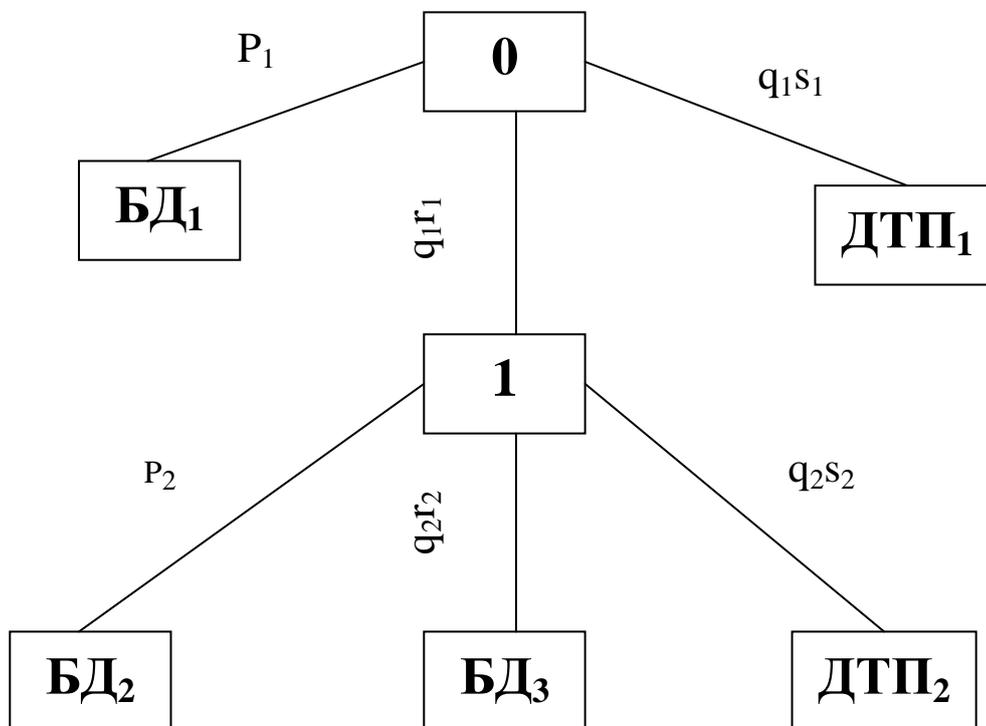


Рисунок 2.7 – Дерево состояний

Как видно из дерева, сложные события БД и ДТП представляются суммами событий: $БД = БД_1 + БД_2 + БД_3$; $ДТП = ДТП_1 + ДТП_2$. Вероятности элементарных событий равны: $P\{БД\} = p_1$; $P\{БД_2\} = q_1 p_2 r_1$; $P\{БД_3\} = q_1 q_2 r_1 r_2$;

$$Q\{ДТП_1\} = q_1 s_1; Q\{ДТП_2\} = q_1 q_2 r_1 s_2,$$

$$\text{отсюда } P = p_1 + q_1 p_2 r_1 + q_1 q_2 r_1 r_2;$$

$$Q = q_1 s_1 + q_1 q_2 r_1 s_2.$$

В правильности выкладок можно убедиться по условию: $P+Q=1$.

$$P+Q = p_1 + q_1 p_2 r_1 + q_1 q_2 r_1 r_2 + q_1 s_1 + q_1 q_2 r_1 s_2 = p_1 + q_1 p_2 r_1 + q_1 s_1 + q_1 q_2 r_1 (r_2 + s_2) = p_1 + q_1 p_2 r_1 + q_1 s_1 + q_1 q_2 r_1 = p_1 + q_1 s_1 + q_1 r_1 (p_2 + q_2) = p_1 + q_1 s_1 + q_1 r_1 = p_1 + q_1 (s_1 + r_1) = p_1 + q_1 = 1;$$

2.2.5. Метод расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения с использованием марковской модели

Оценка безопасности дорожного движения при воздействии на транспортное средство факторов, вероятность проявления которых зависит от продолжительности рейса, может быть произведена на основе представления переходов системы от одного состояния к другому моделью Марковского процесса со счетным множеством состояний и непрерывным временем. Факторы при этом могут быть как зависимые, так и независимые, однократно возникающие и многократно повторяющиеся, с зависимыми и независимыми последствиями, то есть этот метод позволяет производить оценку безопасности движения с учетом воздействия на транспортное средство обширного класса неблагоприятных факторов. Допустим, что все возможные в движении особые ситуации, вызванные неблагоприятными факторами, образуют счетное множество $\{i\}$, $i = \overline{1, m}$. В зависимости от успешности действий водителя по предотвращению последствий неблагоприятных факторов множеству $\{i\}$ будут соответствовать два подмножества: $\{БД_i\}$ – благополучных и (ДТП_i) – неблагоприятных исходов движения.

Обозначим вероятности этих исходов соответственно $P_i(t)$, $Q_i(t)$. Так как события из множества $\{i\}$ для текущего момента времени являются несовместными, то на основании теоремы сложения вероятностей запишем:

$$P(t) = P_0(t) + \sum_{i=1}^m P_i(t); \quad Q(t) = \sum_{i=1}^m Q_i(t)$$

где $P_0(t)$ – вероятность пребывания системы в нормальном состоянии.

Неизвестные вероятности $P_0(t)$, $P_i(t)$, $Q_i(t)$ вычисляются по модели Марковского процесса смены состояний рассматриваемой системы. Для обоснования возможности использования такой модели применим следующие допущения:

1. В начале движения ситуация является нормальной, то есть неблагоприятные факторы отсутствуют.

2. События предотвращения и непредотвращения возникают одновременно с появлением опасных ситуаций.

3. Последовательность возникновения опасных ситуаций (неблагоприятных факторов) i -го типа являются пуассоновским потоком с интенсивностью λ_i . Соответствующие ему потоки благополучных и неблагополучных исходов в силу предыдущего допущения также являются пуассоновскими. Их интенсивности соответственно равны $\lambda_i \Gamma_i$, $\lambda_i S_i$ (пуассоновским потоком событий является поток обладающий свойствами ординарности и отсутствия последствия).

4. Отказавшие при движении элементы не восстанавливаются, а ошибки водителя не повторяются.

Сущность метода расчета вероятностей $P_0(t)$, $P_i(t)$, $Q_i(t)$ при использовании модели Марковского процесса состоит в том, что неизвестные вероятности как функции времени определяются из решения дифференциальных уравнений, которыми описывается этот процесс.

Для составления дифференциальных уравнений относительно неизвестных вероятностей $P_0(t)$, $P_{ii}(t)$, $Q_j(t)$ Марковский процесс со всеми выявленными и реально возможными при движении состояниями системы представляется наглядно в виде графа состояний (рисунок 2.8).

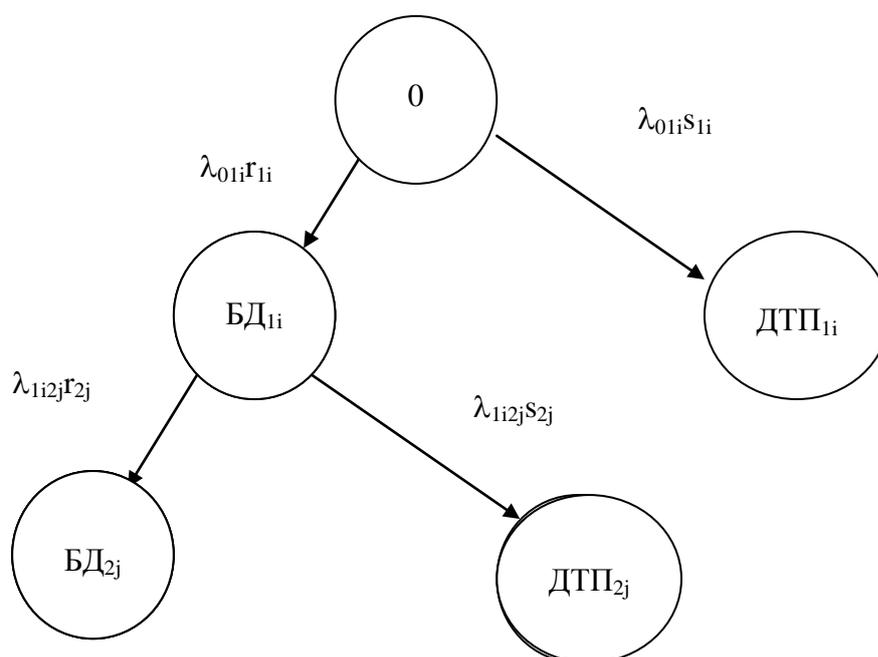


Рисунок 2.8 – Марковский процесс состояния системы

В узлах этого графа обозначаются состояния системы (исходы рейса), вершина графа (состояние 0) соответствует нормальной ситуации. Состояния системы, в которые она переходит непосредственно из нулевого состояния вследствие появления неблагоприятных факторов, называются состояниями первого уровня; состояния, возникающие из состояния первого уровня, - состояниями второго уровня и так далее.

Обозначим эти состояния на первом уровне по i – му фактору – БД $_{1i}$, ДТП $_{1i}$ соответственно для благополучных и неблагополучных исходов; на втором уровне по j –му фактору БД $_{2i}$, ДТП $_{2j}$ и так далее.

На ребрах графа проставляются интенсивности перехода от одного состояния к другому : при переходе от нулевого состояния к состояниям первого уровня – $\lambda_{01i} r_{1i}$; $\lambda_{01i} s_{1i}$ при переходе от состояний первого уровня к состояниям второго уровня – $\lambda_{1i2j} r_{2j}$; $\lambda_{1i2i} s_{2j}$.

Дифференциальные уравнения для определения неизвестных вероятностей составляют по определенному правилу: число уравнений равно числу состояний (исходов), размеченных на графе; в левой части уравнения стоит производная вероятности данного состояния, а правая часть содержит столько членов, сколько стрелок связано с данным состоянием. Если стрелка выходит из этого состояния, соответствующей член имеет знак минус, если она направлена в состояние – плюс. Каждый член равен произведению интенсивности перехода, соответствующей данной стрелке, на вероятность того состояния из которого стрелка исходит.

Дифференциальные уравнения для графа состояний, изображенного на рисунке 2.8 имеют следующий вид:

– для вероятности нулевого состояния:

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{00}P_0; \quad (2.30)$$

– для вероятностей состояний первого уровня:

$$\frac{dP_{1i}}{dt} = \lambda_{01i} r_{1i} P_0 - \lambda_{1i1i} P_{1i} ; \quad (2.31)$$

$$\frac{dQ_{1i}}{dt} = \lambda_{01i} s_{1i} P_0 ; \quad (2.32)$$

– для вероятностей состояния второго уровня:

$$\frac{dP_{2j}}{dt} = \lambda_{1i2j} r_{2j} P_{1i} - \lambda_{2j2j} P_{2j} ; \quad (2.33)$$

$$\frac{dQ_{2j}}{dt} = \lambda_{1i2j} s_{2j} P_{1i} . \quad (2.34)$$

В уравнениях (2.30), (2.31), (2.33) величины λ_{00} , λ_{1i1i} , λ_{2j2j} – суммарные интенсивности появления факторов, выводящих систему соответственно из нулевого состояния, из i – х состояний первого уровня и j – х состояний второго уровня:

$$\lambda_{00} = \sum_{i=1}^a \lambda_{01i}; \quad \lambda_{1i1i} = \sum_{j=1}^b \lambda_{1i2j}; \quad \lambda_{2j2j} = \sum_{f=1}^c \lambda_{2j3f} \quad (2.35)$$

где индексы a , b , c означают числа факторов, которые могут соответственно вывести систему из нулевого состояния, из i –го состояния первого уровня, из j –го состояния второго уровня.

Решение системы дифференциальных уравнений производится при начальных условиях: $t = 0$; $P_0 = 1$; $P_{1i} = Q_{1i} = P_{2j} = Q_{2j} = \dots = 0$.

В первую очередь решается уравнение для вероятности нулевого состояния; затем, используя этот результат, производится решение уравнений для вероятностей состояния первого уровня и других. Для оценки безопасности одного рейса достаточно решить только уравнения для вероятностей благополучных исходов (2.30), (2.31), (2.32) и других, но для проверки правильности решения

по условию $P(t) + Q(t) = 1$ необходимо решить всю систему дифференциальных уравнений.

В целом ряде случаев для оценки безопасности дорожного движения можно ограничить граф состояниями первого уровня. Это равносильно допущению о том, что за рассматриваемое время рейса более одного неблагоприятного фактора не возникает. Неизвестные вероятности состояний при этом определяются из решения уравнений (2.30), (2.31), (2.32), при условии $\lambda_{1111} = 0$ (дальнейшем индекс 1 использоваться не будет).

Решая эти уравнения, получаем:

$$P_0(t) = e^{-\lambda_{00}t}; \quad P_i(t) = \frac{\lambda_{0i} \cdot r_i}{\lambda_{00}} (1 - e^{-\lambda_{00}t});$$

$$Q(t) = \frac{\lambda_{0i} \cdot S_i}{\lambda_{00}} (1 - e^{-\lambda_{00}t}),$$

$$\lambda_{00} = \sum_{i=1}^a i \lambda_{0i}$$

где в соответствии с (2.35),

Выражения для вероятностей благополучного и неблагоприятного исхода рейса примут вид:

$$P = e^{-\lambda_{00}t} + \frac{1 - e^{-\lambda_{00}t}}{\lambda_{00}} \sum_{i=1}^a \lambda_{0i} r_i; \quad (2.36)$$

$$Q = \frac{1 - e^{-\lambda_{00}t}}{\lambda_{00}} \sum_{i=1}^a \lambda_{0i} S_i. \quad (2.37)$$

Заметим, что $\lambda_{0i} = \lambda_i$, где λ_i – интенсивность появления i – го неблагоприятного фактора.

По формулам (2.36), (2.37) определяем уровень безопасности дорожного движения или уровень риска при известных значениях λ_i, r_i . Как следует из выражения (2.37), удельный вклад i -го фактора в уровень аварийности равен:

$$Q = \frac{Q_i}{Q} = \frac{\lambda_i s_i}{\sum_{i=1}^a \lambda_i S_i} \quad (2.38)$$

Этот критерий позволяет определить факторы, оказывающие наиболее отрицательное влияние на безопасности дорожного движения. Как частный случай для одного неблагоприятного фактора ($a = 1$) показатели безопасности дорожного движения принимают вид:

$$P = e^{-\lambda t} + (1 - e^{-\lambda t}) \cdot r = p(t) + q(t)r; \quad (2.39)$$

$$Q = (1 - e^{-\lambda t})s = q(t)s \quad (2.40)$$

2.2.6. Расчет показателей безопасности дорожного движения с учетом возможности восстановления системы

В ряде случаев после предотвращения последствий неблагоприятных факторов водитель может с определенной вероятностью вернуть систему в исходное состояние.

Обозначим вероятность восстановления системы после появления i -го неблагоприятного фактора и предотвращения его последствий водителем u_i . Предположим, что события появления неблагоприятного фактора, предотвращения его последствий и восстановления системы происходят одновременно. Граф состояний для этого случая применительно к появлению неблагоприятных факторов только на первом уровне (рисунок 2.9).

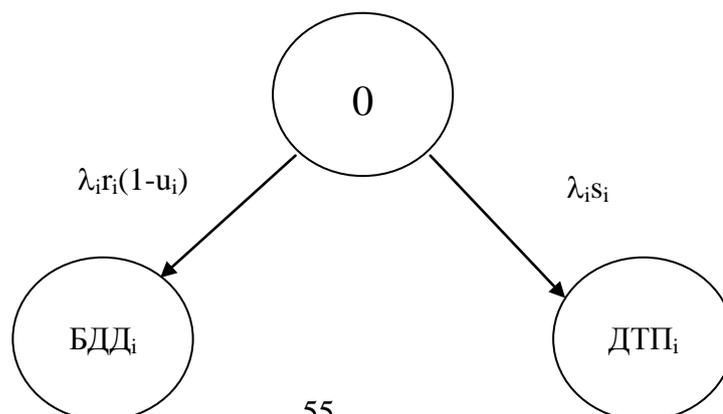


Рисунок 2.9 – Граф состояний первого уровня

Уравнения относительно неизвестных вероятностей записываются в виде:

$$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{00}P_0 ;$$

$$\frac{dP_i}{dt} = \lambda_i r_i (1 - u_i) P_0 ;$$

$$\frac{dQ_i}{dt} = \lambda_i s_i P_0 , \tag{2.41}$$

где
$$\lambda_{00} = \sum_{i=1}^a \lambda_i [r_i (1 - u_i) + s_i] = \sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - r_i u_i).$$

Решая уравнение (2.41) получим развернутые выражения для P_0 , P_i , Q_i :

$$P_0(t) = e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - u_i r_i) t} ; \tag{2.42}$$

$$P_i(t) = \frac{\lambda_i r_i (1 - u_i)}{\sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - r_i u_i)} \left[1 - e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - r_i u_i) t} \right] ; \tag{2.43}$$

$$Q_i(t) = \frac{\lambda_i s_i}{\sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - r_i u_i)} \left[1 - e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i (1 - r_i u_i) t} \right] . \tag{2.44}$$

Для предельного, имеющего большое практическое значение случая $U_i = 1$; $\overline{i} = 1$, формулы (2.41), (2.42), (2.43) записываются в виде:

$$P_0(t) = e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i s_i t};$$

$$P_i(t) = 0;$$

$$Q_i(t) = \frac{\lambda_i s_i}{\sum_{i=1}^a \lambda_i s_i} \left[1 - e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i s_i t} \right]. \quad (2.45)$$

При этом:

$$P = P_{БД} = e^{-\sum_{i=1}^a \lambda_i s_i t}. \quad (2.46)$$

В этой формуле t приобретает смысл (суммарной продолжительности всех рейсов), ранее обозначенных t_Σ , а λ_i, s_i – смысл интенсивности потока дорожно-транспортных происшествий по i -му фактору, которую обозначим Λ_i :

$$P_{БД} = e^{-t_\Sigma \sum_{i=1}^a \lambda_i} = e^{-\Lambda t_\Sigma},$$

где Λ – интенсивность потока дорожно-транспортных происшествий по всем факторам.

Вероятность совершения хотя бы одного дорожно-транспортного происшествия за время t_Σ определяется соотношением $Q_{n \geq 1} = 1 - e^{-\Lambda t_\Sigma}$

Обозначив интенсивность потока дорожно-транспортных происшествий из-за неисправности техники Λ_T , из-за ошибок обслуживающего персонала $\Lambda_{оп}$, из-за воздействия неблагоприятных условий Λ_{HV} , и полагая эти три группы факторов независимыми, показатель БДД возможно представить в виде:

$$P_{БД} = P_T P_{ОП} P_{НУ} = e^{-\Lambda_T t \Sigma} \cdot e^{-\Lambda_{ОП} t \Sigma} \cdot e^{-\Lambda_{НУ} t \Sigma}, \quad (2.47)$$

где P_T , $P_{ОП}$, $P_{НУ}$ - частные показатели безопасности движения по соответствующим группам факторов.

2.2.7. Комбинированный метод расчета показателей безопасности дорожного движения

Показатели безопасности движения в основном являются вероятностными характеристиками. Комбинированный метод предполагает их оценку путем совместного и одновременного использования данных эксперимента (дорожных испытаниях) и теоретических исследований математической модели движения АТС.

При дорожных испытаниях характеристики воздействия на АТС должны соответствовать естественным условиям. Все неслучайные воздействия должны быть одинаковы во всех экспериментах, а у случайных воздействий - одинаковые, но независимые вероятностные характеристики. В этом случае можно считать, все эксперименты являются независимыми и проведены в одинаковых условиях

Важным элементом дорожных испытаний является измерительная система, которая представляет собой совокупность средств, обеспечивающих измерение воздействий на АТС. От того, какие воздействия регистрируются системой измерения, зависит эффективность использования результатов теоретических исследований при оценке характеристик безопасности движения.

Математическая модель движения АТС должна быть составлена с использованием знаний, накопленных в процессе разработки и испытаний АТС. Одни и те же в физическом смысле внешние воздействия на АТС и на модель отличаются за счет того, что на АТС действуют реальные воздействия $u_{01}, u_{02}, \dots, u_{0N}$, а на модель – либо измеренные значения воздействий u_1, u_2, \dots, u_N , либо воздействия, сформированные на основании вероятностных

характеристик, полученных при измерении воздействий U , как изображено на рисунке 2.10.

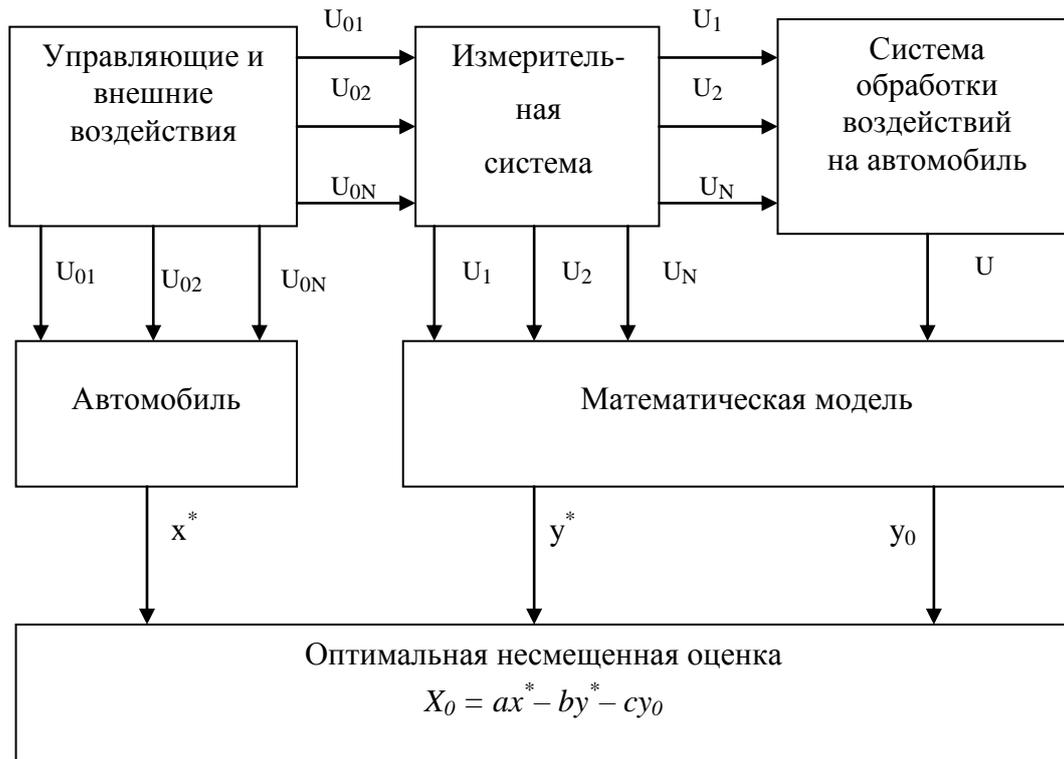


Рисунок 2.10 – Схема воздействий на автотранспортное средство

Обозначим через x искомый показатель безопасности движения. По результатам дорожных испытаний можно вычислить статистическое его значение

$$x^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j, \quad (2.48)$$

где N – число реализаций;

x_j – значения показателя БДД в j – й реализации.

При подаче на модель внешних воздействий u_1, u_2, \dots, u_N определяется статистическое значение показателя безопасности движения

$$y^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j \quad (2.49)$$

По воздействиям на модели, полученным на основании обработки внешних измеренных воздействий на автомобиль, определяются расчетные значения показателя безопасности движения y_0 . Таким образом, модель должна позволять аналитическое ее решение.

Оценка показателя безопасности движения определяется как оптимальная в смысле минимума дисперсии в классе линейных несмещенных оценок по отношению к показателям x^* , y^* и y_0 , т.е.

$$X_0 = ax^* - by^* - cy_0, \quad (2.50)$$

где a, b, c – коэффициенты, выбираемые из условия минимума дисперсии оценки и ее несмещенности.

Условия несмещенности:

$$M[x_0] = aM[x^*] + bM[y^*] + cM[y_0] \quad (2.51)$$

или

$$M[x^*] = x, M[y^*] = y, M[y_0] = y \quad (2.52)$$

На основании формул (2.52) $a = 1, b + c = 0$,

$$X_0 = x^* - c(y^* - y_0) \quad (2.53)$$

Значение коэффициента c находится из минимума дисперсии $D[x_0]$. Поскольку x^* , y^* и y_0 получены через одни и те же воздействия, измеренные при движении, то их значение коррелированы между собой

$$\begin{aligned} D[x_0] &= M[x_0 - x]^2 = M\{(x^* - x) - c[(y^* - y)(y_0 - y)]\}^2 \\ &= D[x^*] - 2c(\mu_{x^*y^*} - \mu_{x^*y_0}) + c^2\{D[y^*] - 2\mu_{y^*y_0} + D[y_0]\} \end{aligned}, \quad (2.54)$$

где $D[x^*]$, $D[y^*]$, $D[y_0]$ – дисперсии величин x^* , y^* , y_0 ;

$\mu_{x^*y^*}, \mu_{x^*y_0}, \mu_{y^*y_0}$ – корреляционные моменты величин x^* и y^* , x^* и y_0 и y^* и y_0 соответственно.

Для определения значения коэффициента c , дающего минимум дисперсии $D[x_0]$, необходимо взять частную производную от выражения (2.54) по c и приравнять ее нулю, поскольку вторая производная по c положительна, то имеет минимум:

$$c = \frac{\mu_{x^* y^*} - \mu_{x^* y_0}}{D[y^*] - 2\mu_{y^* y_0} + D[y_0]} . \quad (2.55)$$

Для вычисления мы можем располагать фактически только статистическими значениями величин, входящих в выражение (2.55), поэтому действительной оценкой будет не x_0 , а некоторая оценка x^* . Расчеты показывают, что точность оценок x_0 и x_{01} одинакова при небольшом количестве экспериментов (от 10 до 30). Выигрыш в точности от использования результатов теоретических исследований определяется отношением дисперсии статистического значения x^* к дисперсии x_0 , то есть

$$\frac{\overline{D}}{D[x_0]} = \frac{D[x^*]}{D[x_0]} = \frac{1}{1 - \frac{(\mu_{x^* y^*} - \mu_{x^* y_0})^2}{D[x^*]\{D[y^*] - 2\mu_{y^* y_0} + D[y_0]\}}} . \quad (2.56)$$

Выражение (2.56) представляет собой также выигрыш в числе экспериментов от использования результатов теоретических исследований. Поскольку стоимость эксперимента во много раз превышает стоимость теоретических исследований, то величина D , характеризующая выигрыш в числе экспериментов, будет определять и выигрыш в стоимости исследований

2.3. Задачи решаемые с помощью вероятностных показателей безопасности дорожного движения

1. Оценить влияние на безопасность движения отдельного неблагоприятного фактора или некоторой совокупности неблагоприятных факторов.
2. Отработать требования к уровню безопасности движения для разрабо-

тываемого транспортного средства на основании опыта эксплуатации прототипа. Если известен $T_{ДТП}$ – средний пробег на одно ДТП для прототипа, то для проектируемого АТС уровень риска на основании $Q = \frac{t_n}{T_{ДТП}}$ должен удовлетворять условию $Q < \frac{t_n}{T_{ДТП}}$, где t_n – предполагаемая продолжительность пробега проектируемого АТС.

3. Определять соответствие фактического уровня безопасности движения заданному. Эта задача решается аналогично предыдущей, только здесь исходной информацией является величина нормируемого уровня риска. Текущее значение $T_{ДТП}$ должно сравниваться в соответствии с выражением $Q = \frac{t_n}{T_{ДТП}}$ с заданным уровнем риска.

4. Оценивать эффективность мероприятий на автотранспортных средствах, направленных на повышение безопасности дорожного движения, еще до их практической реализации. Например, в результате выполнения доработок вероятность отказа тормозной системы в одном рейсе уменьшилась в два раза. Требуется оценить эффект доработок, проявляемых при выполнении 100000 рейсов. Полагая $Q = Q_{Д} = 10^{-5}$, определим по формуле $P_{ДТП} = e^{-NQ_{Д}} = e^{-10^5 \cdot 10^{-5}} = 0,368$, $Q_{n>1} = 1 - P_{ДТП} = 0,632$. После выполнения доработок $P_{ДТП} = e^{-0,5NQ_{Д}} = e^{-0,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5}} = 0,606$; $Q \geq 1 - P_{ДТП} = 0,394$. Доработка дала положительный эффект: вероятность благополучного завершения рассматриваемого числа рейсов возросла в 1,54 раза.

5. Задавать требования к надежности транспортных средств, параметрам функциональных систем автомобиля из условия обеспечения заданного уровня безопасности.

6. Отыскивать наиболее слабые места в обеспечении безопасности дорожного движения и разрабатывать эффективные мероприятия для ее повышения.

7. Оптимизировать уровень безопасности дорожного движения с учетом стоимости и эффективности автотранспортного средства. Для иллюстрации

возможностей решения такой задачи рассмотрим следующий пример. Предположим, что на создание нового АТС отпущено A средств. Стоимость B одного АТС в зависимости от уровня риска выражается формулой $B = \frac{B_0}{Q^k}$, $k > 0$.

График соответствующей зависимости имеет вид (рисунок 2.11).

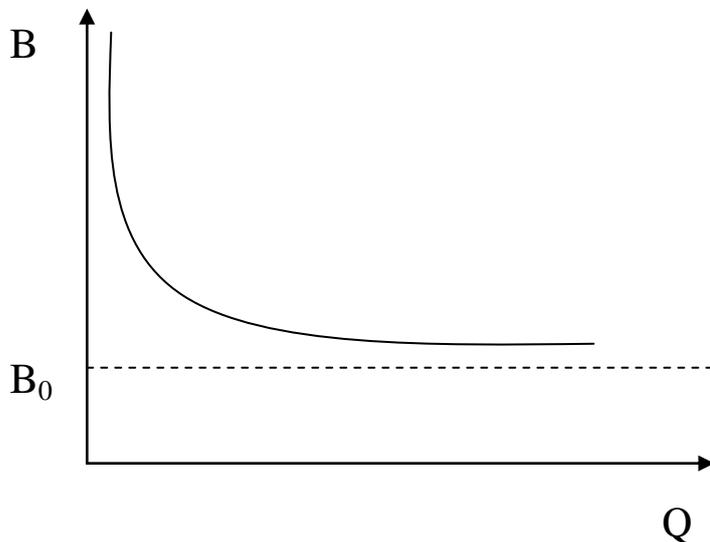


Рисунок 2.11 – Зависимость уровня риска от стоимости АТС

Требуется определить уровень $Q_{\text{опт}}$, соответствующий максимуму величины $z = n - m$, где n – число построенных АТС; m – число АТС, потерянных в ДТП за время пробега, соответствующего установленному для АТС ресурсу t_{PEC} . Таким образом в данной задаче в качестве критерия эффективности принимается величина z . Предполагается, что при выбранном критерии эффективности, АТС удовлетворяет требованиям, предъявляемым к нему в соответствии с целевым назначением. Величина n определяется по формуле

$n = \frac{A}{B} = \frac{A}{B_0} Q^k$. Величина m может быть определена в предположении пуассоновского закона распределения числа АТС как среднее значение числа ДТП,

то есть
$$m = \frac{nQt_{\text{PEC}}}{t_{\text{CP}}}$$
.

Тогда
$$z = \frac{A}{B_0} \left(Q^k - Q^{k+1} \frac{t_{\text{PEC}}}{t_{\text{CP}}} \right).$$

Взяв производную от z по Q и приравняв ее нулю, определим из полученного равенства $Q_{опт} = \frac{kt_{CP}}{(k+1)t_{PEC}}$. Полученное значение $Q_{опт}$ соответствует максимуму величины z , что подтверждается знаком второй производной $\frac{d^2z}{dQ^2} < 0$.

Из результата решения этой задачи следуют два вывода:

1. При совместном удовлетворении проблем стоимости, эффективности и безопасности правомерна постановка вопроса об оптимальном уровне безопасности движения.

2. Этот уровень безопасности движения должен задаваться с учетом назначенного ресурса АТС причем, чем больше ресурс, тем больше должен задаваться уровень безопасности движения.

Глава 3. Анализ безопасности дорожного движения на этапах проектирования транспортных средств

3.1. Влияние свойств «Водитель – система управления – транспортное средство» на безопасность дорожного движения

На этапе проектирования ТС формируются характеристики замкнутого контура «Водитель – система управления – автомобиль» (В-СУ-А). Ему принадлежит особая роль в транспортной системе, так как нормальное функционирование этого контура, в конечном счете определит уровень аварийности и транспортного травматизма. Поэтому если факторы, оказывающие неблагоприятное влияние на функционирование контура «Водитель - система управления - автомобиль», рассматривать как помехи в его работе, то уровень безопасности движения, закладываемый на этапе проектирования ТС будет определяться устойчивостью этого контура на различных условиях движения. Тогда перво-степенной задачей является разработка математической модели и исследование свойств контура управления «Водитель – система управления – автомобиль». Разработка математической модели системы управления автомобилем не вызывает каких-либо принципиальных трудностей. Основная трудность состоит в математическом описании действий водителя. Случайность, нелинейность и нестационарность действий водителя существенно затрудняют решение этой задачи. Однако уже разработаны и разрабатываются новые частные модели, правильно описывающие действия водителя в конкретных ситуациях и позволяющие исследовать устойчивость замкнутого контура управления.

В случае линеаризируемой модели одним из методов исследования условий потери устойчивости рассматриваемого контура управления по анализу распределения корней характеристического уравнения замкнутого контура управления или по годографу $\bar{R}(\omega, X)$ на комплексной плоскости разомкнутого контура. Этот метод позволяет оценить вероятность сохранения устойчивости (P_y) или её потери (Q_y) замкнутым контуром управления «Водитель – система управления – транспортное средство» со случайными параметрами водителя. Сущность метода состоит в следующем.

Пусть имеем передаточную функцию $W_{раз}(D, X)$ разомкнутого контура управления и некоторый вектор критериальных функций $\varphi(X)$, размерности n , характеризующий устойчивость системы в зависимости от вектора случайной величины X размерности m , распределенных по нормальному закону.

В качестве критериальных функций могут быть приняты, например, действительные корни и действительные части комплексных корней $\bar{\alpha}(\bar{X})$ замкнутого контура управления или радиус-вектор $\bar{R}(\omega, \bar{X})$ на комплексной плоскости с началом координат в точке $(R_{\omega_i}, J_{\omega_i})$, где i – i -ый элемент вектора равен

$$R_i(\omega_i, \bar{X}) = \sqrt{(R_{\omega_i} + 1)^2 + J_{\omega_i}^2} \quad (3.1)$$

Здесь R_{ω_i} и J_{ω_i} – действительная и мнимая части передаточной функции разомкнутого контура $W_{раз}(j\omega, \bar{X})$.

Чтобы система была устойчива, необходимо выполнить условие по каждой составляющей вектора $\bar{\varphi}$:

$$\bar{\varphi}(\bar{X}) > C_i$$

Вероятность потери устойчивости по каждому элементу вектора φ будет равна

$$Q_i = P[\varphi_i(\bar{X}) \leq C_i] \quad (3.2)$$

В зависимости от сложности и нелинейности критериальной функции $\varphi_i(\bar{X})$ определение Q_i может выполняться различными способами:

1. Функция $\varphi_i(\bar{X})$ является сложной нелинейной функцией и элементы вектора (\bar{X}) коррелированы между собой. В этом случае рекомендуется применять следующий алгоритм для вычисления Q_i :

- находятся частные производные $\varphi_{ij}^{\downarrow} = \frac{d\varphi_i}{dX_j}$ при математическом ожидании вектора \bar{m}_x ;
- используя градиентный метод, определяется предельное значение $x_{лпрj}$, соответствующее событию b_j , при этом другие элементы вектора X изменяются с учетом корреляционной связи

$$x_l = m_{x_l} + \sum_{k,l}^m r_{x_l x_k} (x_k - m_{x_k}) \quad (3.3)$$

Поскольку при \bar{m}_{x_j} система устойчива, то

$$Q_i = 0,5 - \Phi_0(u_{ij}) \quad (3.4)$$

$$u_{ij} = \frac{x_{j_{np}} - m_{x_j}}{\sigma_{x_j}}$$

где аргумент функции Лапласа

2. Если критериальная функция $\varphi_i(\bar{X})$ линеаризуема и может быть представлена в виде:

$$\varphi_i(\bar{X}) = \varphi_i(m_x) + \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}^{\prime} (x_j - m_{x_j}), \quad (3.5)$$

то можно найти характеристики распределения элемента $\varphi_i(\bar{X})$ через характеристики распределения \bar{X} :

$$m_{\varphi_i} = \varphi_i(\bar{m}_x)$$

$$\sigma_{\varphi_i}^2 = \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}^{\prime 2} \sigma_{x_j}^2 + 2 \sum_{j < k}^m \varphi_{ij}^{\prime} \varphi_{ik}^{\prime} \eta_{x_j x_k} \sigma_{x_j} \sigma_{x_k} \quad (3.6)$$

В этом случае безразмерный аргумент функции Лапласа, соответствующий выходу на границу устойчивости, будет равен:

$$u_i = \frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\sigma_{\varphi_i}} \quad (3.7)$$

Если элементы вектора \bar{X} некоррелированы ($\eta_{x_i, x_k} = 0$) между собой, то можно найти аргумент функции Лапласа

$$u_i = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j>1}^m \frac{1}{u_{ij}^2}}}, \quad (3.8)$$

$$u_{ij} = \frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\varphi_{ij} \sigma_{x_i}}$$

где

Тогда вероятность потери или сохранения устойчивости по каждому элементу вектора $\bar{\varphi}$ определяется:

$$Q_i = 0,5 - \Phi_0(u_i), \quad P_i = 0,5 + \Phi(u_i) \quad (3.9)$$

Искомые вероятности сохранения или потери устойчивости замкнутого контура управления «Водитель – система управления – транспортное средство»:

$$P_y = \prod_{i=1}^n P_i; \quad Q_y = 1 - \prod_{i=1}^n P_i. \quad (3.10)$$

3.2. Математические модели действий водителя

3.2.1. Модель действий водителя при компенсационном слежении

Существует два подхода к анализу человеко-машинных систем:

1. Машиноцентрический, в котором нашла свое отражение концепция, трактующая поведение человека как реакцию на воздействующие стимулы. Реальная деятельность человека, управляющего техникой, здесь низводится до элементарнейшего уровня, в результате из неё выхолщивается её содержание.

2. Антропоцентрический, который опирается на физические закономерности взаимодействия человека с управляемым объектом.

При анализе замкнутого контура «Водитель – система управления – транспортное средство» широкое применение получил машиноцентрический подход. Одной из характерных задач при управлении АТС является стабилизация одного или нескольких параметров движения, так называемое компенсационное слежение.

Математическая модель действий водителя в режиме компенсационного слежения имеет вид передаточной функции, входом которой является рассогласование Δx_i , выходом – усилие P , которое водитель прикладывает к рулевому колесу, стремясь свести к минимуму наблюдаемое рассогласование по i -ому параметру.

$$W_B(D) = W \frac{P}{\Delta x_i} = \frac{K_B l^{-\tau D} (T_{B1} D + 1)}{(T_{B2} D + 1)(T_{B3} D + 1)} \quad (3.11)$$

где $\tau = 0.8 \dots 1.65$ – величина запаздывания водителя по приему и распознаванию поступающей информации.

Это время, необходимое водителю, в первую очередь, для считывания информации.

На рисунке 3.1 представлена зависимость частоты отсчета в секунду от ширины полосы частот изменения параметров движения в герцах.

Видно, чем больше ширина полосы изменений параметров движения (т.е. чем больше информационная производительность процессов), тем больше частота отсчетов в секунду.

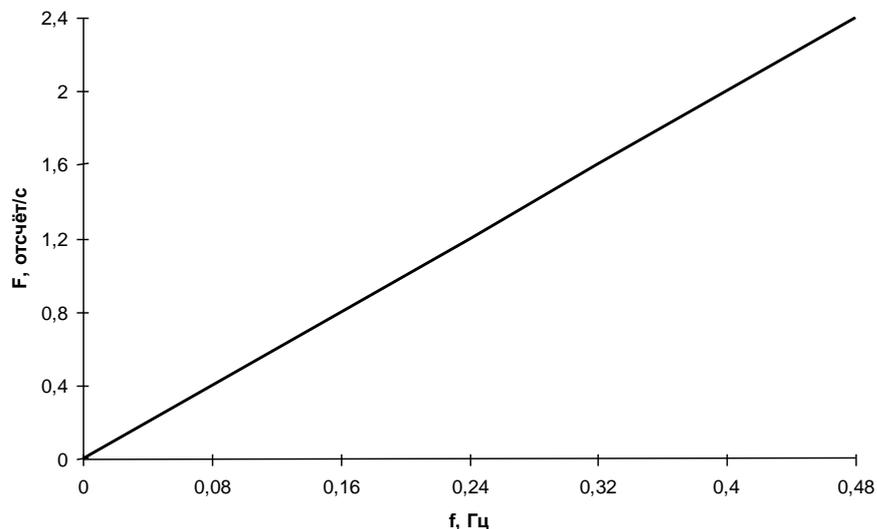


Рисунок 3.1 – Зависимость частоты отсчета от изменения параметров движения

$\frac{1}{T_{B2}D+1}$ – инерционное звено характеризует инерционность водителя при переработке информации и принятию решения $T_{B2} < 2c$.

Зависимость времени принятия решения от количества информации, обрабатываемой водителем $t_{nn}(J)$ с учетом влияния её значимости, представлены на рисунке 3.2.

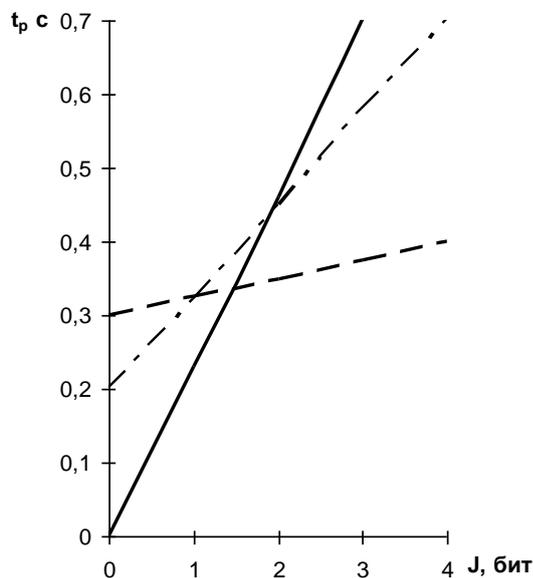


Рисунок 3.2 – Зависимость времени принятия решения от количества информации

Штриховой линией показана зависимость $t_{nn}(J)$ – изменение времени принятия решения в опасной ситуации. На том же рисунке для сравнения сплошной линией изображена зависимость $t_{nn}(J)$ нормальной ситуации. Зави-

симось $t_{nn}(J)$, полученная после устранения водителем особой ситуации, показана штрихпунктирной линией.

Из сравнения этих характеристик следует, что фактор значимости, определяемый ситуацией, ведет к интенсификации процессов восприятия информации, увеличивает скорость её переработки.

$\frac{1}{T_{B3}D+1}$ – характеризует нервно-мышечное запаздывание водителя

$T_{B3} = 0,1 \dots 0,2$ с.

$T_{B1}D+1$ – форсирующее звено, характеризует способность водителя работать с предвидением $T_{B1} = 0,6 \dots 2,5$ с.

Прогнозирование, то есть предвидение, экстраполяция ситуации является одной из самых характерных особенностей тех преобразований информации, которые происходят в подсистеме «Водитель – автотранспортное средство».

В результате обработки экспериментальных данных была получена кривая зависимости времени прогнозирования t_{np} от частоты считываемого сигнала (рисунок 3.3).

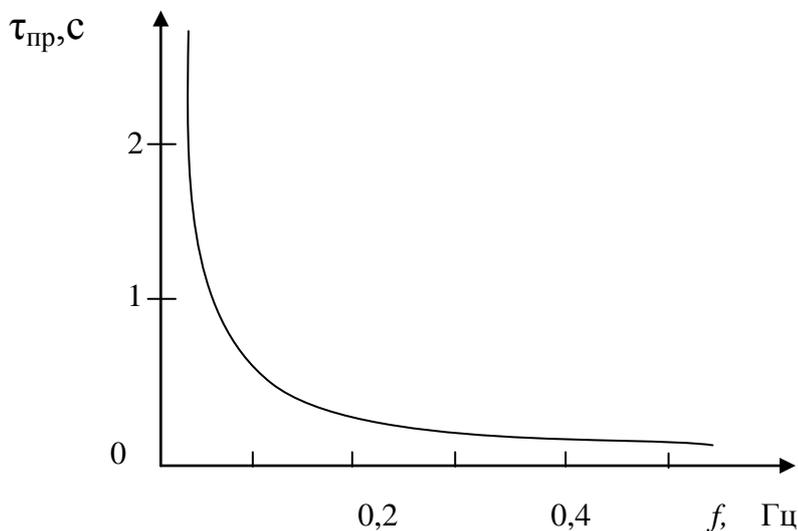


Рисунок 3.3 – Зависимость времени прогнозирования от частоты считываемого сигнала

У группы операторов при слежении на частоте 0,05 Гц и 0,1 Гц прогнозирование с экстраполяцией отмечено во всех проводимых опытах, на частоте 0,4

и 0,5 Гц ограниченные возможности водителя по прогнозированию приводили к срыву процессов управления.

3.2.2. Модель действий водителя в опасной ситуации

Структура модели действий водителя в опасной ситуации, к которой приводит появление неблагоприятного фактора, существенно зависит от её характера, поэтому создание универсальной модели, пригодной для исследования безопасности движения при любых неблагоприятных факторах, сопряжено с большими трудностями. В настоящее время идут по пути создания частных моделей для вполне конкретных опасных ситуаций.

Рассмотрим структуру модели действий водителя для опасной ситуации, при которой наблюдается быстрое изменение параметров движения АТС, и при этом не исключена возможность в случае неудачных действий водителя выхода одного или нескольких параметров за установленные эксплуатационные ограничения.

К такой ситуации могут приводить наезд на препятствие одним колесом, превышение скорости поворота, неисправности в системе управления, в общем, такие ситуации, которые вызывают существенные изменения моментов и сил, действующих на АТС. В том случае, когда на АТС действует постоянное моментное возмущение, передаточная функция (3.11) в принципе неприемлема для описания динамических свойств водителя в опасной ситуации, так как при этом не будет обеспечен астатизм системы «Водитель – транспортное средство». Поэтому передаточная функция водителя должна иметь вид

$$W(D) = \frac{1}{D} \frac{M(D)}{N(D)}$$

Вид полиномов $M(D)$, $N(D)$ и вид передаточной функции в целом можно определить в дорожных испытаниях или на тренажерах. Результат экспериментов представляется в виде математических ожиданий сигналов входа $m_{\Delta x}(t)$ и выхода $m_p(t)$ модели водителя:

По известным значениям $m_{\Delta x}(j\omega), m_p(j\omega)$ определяет амплитудную и фазовую частотные характеристики водителя

$$W_B(j\omega) = m_p(j\omega) / m_{\Delta x}(j\omega)$$

Как показали исследования, с достаточной степенью точности они аппроксимируются передаточной функцией

$$W_B(j\omega) = \frac{K_B(1 + T_1 D + T_2 D^2)}{D(1 + T_N D)(1 + T_3 D)} \quad (3.12)$$

В передаточной функции (3.12) ее коэффициенты имеют следующий смысл:

K_B – коэффициент усиления водителя;

T_1, T_2 – постоянные времени второго порядка, характеризующие удельный вес скорости и ускорения АТС в формировании ответных моторных реакций водителя;

T_N – постоянная времени нервно-мышечного запаздывания ($T_N = 0,8$ с);

T_3 – постоянная времени в образовании моторной реакции водителя.

Можно предполагать, что вид передаточной функции для различных водителей остается неизменным, а случайность двигательных реакций заключается в количественных значениях коэффициентов передаточной функции α_{ij} . Они определяются для каждой i -ой реализации опасной ситуации из условия минимума критерия

$$I = \int_0^{\infty} h_{B_i}^2(t) dt = \min$$

$$t = \alpha_{ij} ,$$

где h_{b_i} – «шум» модели водителя, являющийся той частью его двигательных реакции, которая не определяется передаточной функцией

По этому критерию получают систему уравнений вида $\frac{dI}{d\alpha_{ij}} = 0$, реше-

нием которых являются коэффициенты $\alpha_{ij} (j = 1, 4)$.

Обработка ансамбля значений α_{ij} позволяет определить их основные статистические характеристики – математическое ожидание, дисперсию и корреляционную матрицу для вероятностных зависимостей между отдельными коэффициентами. Кроме коэффициентов передаточной функции водителя случайность его двигательных реакций адекватно отображается случайностью времени запаздывания $t_{\text{з}}$.

3.3. Применение методов статистической динамики для исследования безопасности дорожного движения

Построив модель замкнутого контура «Водитель – система управления – автомобиль» необходимо с её помощью получить показатели безопасности движения.

Для этого представим модель замкнутого контура в виде стохастической модели. Стохастическая модель – это такая модель, которая учитывает действие в системе различных случайных факторов. Учет случайных факторов приводит к уравнениям, содержащим случайные функции, то есть такие функции, значения которых при данных значениях аргументов являются случайными величинами.

Дифференциальные уравнения для стохастической модели замкнутого контура в общем случае имеют вид:

$$\dot{\bar{X}} = F(\bar{X}, \bar{u}, t, N_1(t)); \quad \bar{X}(t_0) = \bar{X}_0, \quad (3.13)$$

где $F(\bar{X}, \bar{u}, t, N_1(t))$ – случайная функция Р – мерного вектора управления \bar{u} , n – мерного вектора состояния \bar{X} , времени t и случайной m – мерной векторной случайной функции внешних воздействий.

Вследствие случайности правой части уравнения (3.13) и, возможно, также начального значения вектора состояния $\bar{X}_0 = \bar{X}(t_0)$ вектор состояния системы \bar{X} в каждый момент t представляет собой случайную величину.

Модель действий водителя представляет собой линейную стохастическую систему

$$\bar{u} = \bar{u}_0 + \Delta \bar{u},$$

где \bar{u}_0 – отклонения управляющих органов;

$\Delta \bar{u}_0$ – случайные отклонения от \bar{u}_0 , которые получим из уравнения

$$\Delta \dot{\bar{X}} = A_v \Delta \bar{u} + B_v \bar{N}_v(t). \quad (3.14)$$

Дифференциальное уравнение (3.14) в правой части включает случайное слагаемое $B_v \bar{N}_v(t)$, где $\bar{N}_v(t)$ – случайная функция времени. Эта функция учитывает «шумы» в действиях водителя, обусловленные его ошибками при формировании управляющих воздействий.

Зная характеристики случайной функции $N(t)$, математическое ожидание $m_N(t)$, ковариационную функцию $K_N(t_1, t_2)$, её можно представить как результат безинерционного преобразования решений стохастического дифференциального уравнения:

$$\dot{\bar{N}} = \varphi(\bar{N}, t) + (\bar{N}, t) \bar{V} \quad (3.15)$$

где \bar{V} – белый «шум».

Белым «шумом» называется случайная функция $\bar{V}(t)$ с нулевым математическим ожиданием и ковариационной функцией, содержащей множителем δ – функцию

$$m_x(t) = 0, \quad K_x(t_1, t_2) = v(t_1) \delta(t_1 - t_2)$$

Множитель $\nu(t)$ при δ – функции называется интенсивностью белого «шума» $\bar{V}(t)$.

Условная ковариационная матрица (или дисперсия процесса $\bar{X}(t)$ величины $\Delta\bar{X}$ имеет порядок $\nu(t)\Delta t$, то есть имеет порядок малости Δt . Следовательно, средние квадратические значения компонент вектора $\Delta\bar{X}$ имеют порядок малости $\sqrt{\Delta t}$. Последнее является определяющим для рассматриваемых случайных процессов, так как благодаря ему, несмотря на бесконечную скорость изменения процесса, среднее значение изменения за конечное время конечно. Большие изменения маловероятны, конечные скачки процесса появляются с нулевой вероятностью, а все траектории процесса непрерывны с вероятностью единицы.

Построенная таким образом модель замкнутого контура «Водитель - система управления – автомобиль» в виде системы стохастических дифференциальных уравнений при начальном условии $\bar{X}(t_0) = \bar{X}_0$, где \bar{X}_0 - случайная величина, независимая от будущих приращений, определяет Марковский случайный процесс изменений фазовых координат. Чтобы понять это, достаточно заметить, что значение процесса $\bar{X}(t)$ полностью и однозначно определяется его значением $\bar{X}(\tau)$ в какой-либо момент $\tau \in (t_0, t)$ и значениями белого «шума» \bar{V} в интервале (τ, t) .

Для того чтобы полностью определить Марковский непрерывный случайный процесс, достаточно задать одномерную плотность вероятности $f_1(\bar{X}, t_1)$ и плотность вероятности $f(\bar{X}_2, t_2 / \bar{X}_1, t_1)$ или двумерную плотность вероятности $f_2(\bar{X}_1, t_1 / \bar{X}_2, t_2)$. Поэтому целесообразно исследовать динамику не вектора фазовых координат, а его плотность вероятности. Уравнение, описывающее изменения одномерной плотности вероятности, является уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова.

$$\frac{df_1(\bar{X}, t)}{dt} = \text{div} \pi(\bar{X}, t), \quad (3.16)$$

$$\pi_k(\bar{X}, t) = A_k(\bar{X}, t) f_1(\bar{X}, t) - \frac{1}{2} \sum_{l=1}^n \frac{d}{dX_l} [B_{kl}(\bar{X}, t) f_1(\bar{X}, t)]$$

где

$$A_k(\bar{X}, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} M \left[\frac{X_k(t + \Delta t) - X_k(t)}{\Delta t} \mid \bar{X}, t \right]$$

$$B_{kl}(\bar{X}, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} M \left[\frac{(X_k(t + \Delta t) - X_k(t))(X_l(t + \Delta t) - X_l(t))}{\Delta t} \mid \bar{X}, t \right]$$

$$(k, l = 1, \dots, n)$$

Коэффициент $A_k(\bar{X}, t)$ характеризует условное математическое ожидание скорости изменения параметра движения, коэффициент $B_{kl}(\bar{X}, t)$ характеризует скорость изменения условной дисперсии того же параметра движения.

Уравнение (3.16) должно интегрироваться с начальными условиями $f_1(\bar{X}_0, t_0) = \psi_0(\bar{X}_0)$ и граничными условиями $f_1(\pm\infty, t) = 0$.

Ограничения, накладываемые на параметры движения, превышение которых приводит к ДТП, приводят к интегрированию уравнения ФПК в ограниченной области. В этом случае те реализации Марковского процесса, у которых величина координаты (\bar{X}, t) в некоторый момент времени t' выходит за установленные границы, должны быть изъяты из рассмотрения при $t > t'$, то есть поглощены.

Таким образом, необходимо рассматривать модель Марковского случайного процесса с поглощением реализаций. Для характеристики интенсивности поглощения реализаций процесса вводятся локальные функции поглощения. На границе $S(\bar{X})$, разделяющей две области пространства параметров движения, существует положительная плотность потока вероятности. Поглощение реализаций на границе S приводит к тому, что поток вероятности внутрь области не попадает, а функция поглощения на границе пропорциональна плотности потока вероятности

$$\mathcal{G}(\bar{X}, t) = \delta[\bar{X}(t) - S(\bar{X})](\bar{n}^o \pi(\bar{X}, t))$$

где δ – дельта - функция, $S(\bar{X})$ – гиперповерхность, \bar{n}^o – орт внешней нормали к гиперповерхности S . $\pi(\bar{X}, t)$ – вектор плотности потока вероятности непоглощенных реализаций.

Обобщенное уравнение ФПК с учетом функций поглощения имеет вид:

$$\frac{df_1(\bar{X}, t)}{dt} = -d \dot{w} \pi(\bar{X}, t) - \mathcal{G}(\bar{X}, t) \quad (3.17)$$

Уравнение (3.17) является обобщенным уравнением ФПК. Оно должно интегрироваться при заданной начальной функции плотности вероятности в момент времени $t = t_0$.

$$f_1(\bar{X}, t_0) = \Phi_0(\bar{X}_0)$$

и нулевых граничных условиях

$$f_1(\pm\infty, t) = 0$$

Для вероятностного исследования динамической системы необходимо проинтегрировать многомерное уравнение в частных производных второго порядка для функции плотности вероятности (3.15). Точных аналитических методов решения этих задач не существует.

Перспективным путем является разработка вычислительных алгоритмов, основанных на интегрировании линейных уравнений в частных производных с использованием современной вычислительной техники. Однако трудности, возникающие на этом пути, связаны со сложностью вычислительных процедур решения уравнений в частных производных.

Другое направление решения задач вероятностного анализа динамических систем основывается на различных аппроксимациях искомой функции плотности вероятности параметров движения с помощью функциональных рядов. В результате вместо интегрирования уравнений в частных производных

для искомым функций следует интегрировать обыкновенные дифференциальные уравнения для коэффициентов разложений – вероятностных моментов.

Наиболее эффективным является метод гауссовой аппроксимации искомой функции плотности вероятности $f_1(\bar{X}, t)$, удовлетворяющей уравнению (3.17). При применении этого метода задается вид функции плотности вероятности и должны быть определены полностью характеризующие гауссову функцию – вектор математического ожидания $m(t)$ и матрица корреляционных моментов $R(t)$:

$$\dot{m}_k = \int_{-\infty}^{\infty} A_k(\bar{X}, t) f_{10}(\bar{X}, t) d\bar{X} - \int_{-\infty}^{\infty} X_k \mathcal{G}(\bar{X}, t) d\bar{X} - \frac{\dot{P}(t)}{P(t)} m_k,$$

$$(k, l = 1, \dots, n)$$

$$\begin{aligned} \dot{R}_{kl} = & \int_{-\infty}^{\infty} [A_k(\bar{x}, t) X_l^0 + A_l(\bar{x}, t) X_k^0 + B_{kl}(\bar{X}, t) f_{10}(\bar{X}, t) d\bar{x}] - \\ & - \int_{-\infty}^{\infty} X_k^0 x_l v(\bar{X}, t) d\bar{x} - \frac{P'(t)}{P(t)} R_{kl} \end{aligned}$$

$$(k, l = 1, \dots, n),$$

где $X_k^0 = (X_k - m_k)$ – центрированное значение k – ой составляющей вектора \bar{X} ;

$$\dot{P}(t) = - \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{G}(\bar{X}, t) d\bar{X} \quad - \text{ с начальным условием } P(t_0) = 1 .$$

Функция $f_{10}(\bar{X}, t)$ есть многомерная гауссова плотность вероятности, имеющая вид:

$$f_{10}(\bar{X}, t) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^\pi \Delta}} \exp \left[- \frac{\Delta^*}{2\Delta} \right],$$

где Δ – определитель, соответствующий корреляционной матрице R :

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} \dots R_{1n} \\ \dots \dots \dots \\ R_{n1} \dots R_{nn} \end{vmatrix}$$

Δ^* – окаймленный определитель вида

$$\Delta^* = \begin{vmatrix} R_{11} \dots R_{1n} X_1 - m_1 \\ \dots \dots \dots \\ R_{1n} \dots R_{nn} X_n - m_n \\ X_1 - m_1 \dots X_n - m_n 0 \end{vmatrix},$$

который также можно записать в виде

$$\Delta^* = (\bar{X} - \bar{m})^T R (\bar{X} - \bar{m}).$$

Глава 4. Анализ безопасности дорожного движения на этапах испытаний и эксплуатации транспортных средств

4.1. Оценивание плотности вероятности определяющего параметра движения по гистограмме

На этапе дорожных испытаний возможно уточнить плотности распределений, полученные на этапе проектирования ТС аналитическим методом. При этом подходящей оценкой плотности может служить относительная плотность экспериментальных точек, полученных из записей средств контроля. Дискретное представление обусловлено тем, что параметр движения регистрируется в отдельные моменты времени.

Пусть $f(X)$ - неизвестная плотность значений параметра движения X . Область возможных значений параметра X разбивается на k интервалов $\Delta x_1, \dots, \Delta x_r$. Для выбора оптимальной величины интервала можно воспользоваться формулой

$$k = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,2 \ln N}$$

где X_{\max} – наибольшее значение;

X_{\min} – наименьшее значение;

N – количество дискретных точек.

Пусть z_1, \dots, z_r – случайные числа попаданий параметра X в интервалы $\Delta x_1, \dots, \Delta x_r$ и $z_1 + \dots + z_r = N$. Тогда частоты попадания в эти интервалы будут равны $P_v^* = z_v / N$ ($v = 1, \dots, r$). Вероятности попадания в эти интервалы определяются формулой

$$P_v = \int_{\Delta x_v} f(X) dx \quad (v = 1, \dots, r)$$

Если принять частоты P_1^*, \dots, P_r^* за оценки вероятностей P_1, \dots, P_r то значения относительной плотности экспериментальных точек $F_v^* = P_v^* / \Delta x_v l$ в соответствующих интервалах Δx_v ($v = 1, \dots, r$) будут оценками величин

$$f_v = \frac{P_v}{\Delta x_v} = \frac{1}{\Delta x_v} \int f(x) dx \quad (v = 1, \dots, r)$$

Если $f(X)$ непрерывна в каждом интервале Δx_v , то эти величины представляют собой значения $f(X)$ в некоторых средних точках соответствующих интервалов. Таким образом, значения относительной плотности экспериментальных точек (ординаты гистограммы) представляют собой оценки плотности вероятности в не известных средних точках соответствующих интервалов.

Для нахождения доверительной области для вектора $f = [f_1, \dots, f_r]^r$ в r -мерном пространстве будем оценивать отклонение вектора частот $P = [P_1^*, \dots, P_r^*]^r$ от вектора вероятностей $P = [P_1, \dots, P_r]^r$ взвешенной суммой квадратов ошибок

$$\sum_{v=1}^r C_v (P_v^* - P_v)^2$$

где C_1, \dots, C_r – некоторые положительные числа. Эти числа целесообразно выбрать так, чтобы ошибками оценивания малых вероятностей P_v приписывать большие веса C_v . К.Пирсон показал, что если взять $C_v = N/P_v$ ($v = 1, \dots, r$), то в пределе при неограниченном возрастании числа интервалов N распределение величины

$$H = N \sum_{v=1}^r \frac{1}{P_v} (P_v^* - P_v)^2$$

стремится к χ^2 распределению с $r - 1$ степенями свободы. Тогда получим доверительную область для вектора $P = [P_1, \dots, P_r]^T$, определяемую соотношением:

$$\sum_{v=1}^r \frac{1}{P_v} (P_v - P_v^* < \frac{\varepsilon_\alpha}{N}), \quad \sum_{v=1}^r P_v = 1$$

где ε_α определяется по заданному коэффициенту доверия из уравнения

$$P(H < \varepsilon_\alpha) = \int_0^{\varepsilon_\alpha} P_{r-1}(\eta) d\eta = \alpha$$

Доверительная область для f определится соотношениями

$$\sum_{v=1}^r \frac{1}{f_v} (f_v - F_v^*) \Delta x_v < \frac{\varepsilon_\alpha}{N} \quad \sum_{v=1}^r f_v \Delta x_v = 1$$

4.2. Статистические методы анализа безопасности дорожного движения

Сложившееся положение с аварийностью показывает, что традиционные подходы к решению проблем снижения аварийности и травматизма движения недостаточны, чтобы добиться желаемых результатов. Масштабность и сложность проблемы требуют совершенствования методов анализа аварийности, при этом все больше возрастает роль математических методов исследования.

Статистические методы анализа аварийности и транспортного травматизма базируются на использовании массива данных о каком либо параметре X или совокупности параметров, полученных в результате обработки информации по множеству рейсов и характеризующих состояние какой либо функциональной системы автотранспортного средства, движение АТС или действия водителя. От рейса к рейсу под воздействием различных, в общем случае неконтролируемых причин, параметр X меняется случайным образом, поэтому для обработки массива данных применимы методы математической статистики.

Среди обширного круга задач, которые при этом могут решаться, важное прикладное значение для анализа вопросов снижения аварийности имеют задачи определения в среднем запаса до предельного значения $X_{пр}$ и вероятности превышения $X_{пр}$.

Так как совокупность наблюдаемых значений параметра X конечна, то мы всегда имеем дело с некоторой выборкой. Для этого используем основные выборочные характеристики:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \text{ – выборочная средняя; } D = \frac{1}{n-1} \cdot \sum (x_i - \bar{x})^2 \text{ – дисперсия;}$$

$$\sigma = \sqrt{D} \text{ – среднее квадратическое отклонение; } \sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ – ошибка средней;}$$

$$V = \frac{\sigma}{x} \cdot 100\% \text{ – коэффициент вариации.}$$

При условии, если коэффициент вариации лежит в пределах от 10% до 20%, то изменение данной величины в выбранном интервале можно охарактеризовать средней.

Для оценки генеральной средней используется доверительный интервал:

$$\bar{x} - t_\gamma \cdot \sigma_{\bar{x}} < \bar{x} < \bar{x} + t_\gamma \cdot \sigma_{\bar{x}}$$

Величина t_γ при заданной надежности γ и числе опытов n определяется из таблиц. $t_\gamma \cdot \sigma_{\bar{x}}$ – радиус доверительного интервала.

Использование выборочных значений в качестве оценки параметров случайных величин дает только точечные оценки интересующих нас параметров, они не позволяют судить о степени близости выборочных значений к оцениваемому параметру. Более содержательны процедуры оценивания параметров, связанные не с получением точечного значения, а с построением интервала, который покрывает оцениваемый параметр с известной степенью достоверности, поэтому необходимо построить интервал, который покрывает оцениваемый параметр [270, 294].

Пусть Q – неизвестное число ДТП в N рейсах, при условии, что эта величина распределена по нормальному закону с некоторым математическим

ожиданием Q' . Q' зависит от случайных исходов рейсов. По этим данным необходимо установить такую границу возможных отклонений Q от математического ожидания Q' , так что модуль разности $|Q - Q'|$ не превосходит некоего числа ε , т.е. $|Q - Q'| < \varepsilon$.

В данном случае возможны две ситуации:

1. Вероятность отклонения задана и достаточно большая (0,9; 0,95 и 0,99), тогда по заданной вероятности находят число ε из условия, что $P(|Q - Q'| < \varepsilon) = \alpha$. Отсюда вытекает, что действительное число ДТП будет находиться в интервале

$$Q' - \varepsilon < Q < Q' + \varepsilon$$

2. Определить искомую вероятность ДТП, если указано ε – отклонение от математического ожидания Q' и среднее квадратичное отклонение σ , тогда вероятность отклонения выразится формулой $P(|Q - Q'| < \varepsilon) = \Phi(\frac{\varepsilon}{\sigma})$, где $\Phi(\frac{\varepsilon}{\sigma})$ – интегральная функция Лапласа и вычисляется по таблице.

Данный метод хорошо применим, если выбран основополагающий критерий, по которому можно оценивать вероятности ДТП (например, рельеф дороги, водительский стаж и другие).

Чтобы исследовать частоту Q^* как оценку вероятности ДТП, воспользуемся формулами для математического ожидания и дисперсии, которые получим следующим образом. Пусть в N рейсах наблюдалось n ДТП с вероятностью ДТП в одном рейсе q . Число ДТП в одном рейсе имеет два возможных значения 0 и 1, вероятности которых равны $1 - q$ и q . Поэтому его математическое ожидание $m_{ДТП}$ и дисперсии $D_{ДТП}$ определяются по формулам:

$$m_{ДТП} = 0 \times (1 - q) + 1 \times q = q \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} D_{ДТП} &= (0 - q)^2(1 - q) + (1 - q)^2q = q^2(1 - q) + (1 - q)^2q = \\ &= (1 - q)q[q + 1 - q] = (1 - q)q \end{aligned} \quad (4.2)$$

Для N рейсов получим:

$$MQ^* = \frac{1}{N}(Nq) = q \quad (4.3)$$

$$DQ^* = \frac{1}{N^2}[N(1-q)q] = \frac{(1-q)q}{N} \quad (4.4)$$

Отсюда видно, что математическое ожидание частоты ДТП равно его вероятности, а дисперсия частоты стремится к нулю при неограниченном увеличении рейсов N . Следовательно, частота ДТП сходится средне квадратически к его вероятности при $N \rightarrow \infty$, из которой вытекает и сходимости по вероятности.

Для нахождения доверительных интервалов для каждого значения вероятности $Q \in (0,1)$ задают интервалы $D_\alpha(Q) = [a_\alpha(Q), b_\alpha(Q)]$, концы которого определяются из условия:

$$P_\alpha(Q^* < a_\alpha(Q)) = F(a_\alpha(Q)) \leq 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad (4.5)$$

$$P_\alpha(Q^* \geq b_\alpha(Q)) = 1 - F(b_\alpha(Q)) \leq 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad (4.6)$$

где $F(X)$ – функция распределения частоты. Тогда будем иметь:

$$P(Q^* \in D_\alpha(Q)) = P(a_\alpha(Q) \leq Q^* < b_\alpha(Q)) \geq \alpha \quad (4.7)$$

При большом числе рейсов N определение доверительных интервалов для Q существенно упрощается.

Вспользуемся стандартной нормальной случайной величиной $Y = (X - m_x) / \sigma_x$, подставим в это выражение вместо $X \rightarrow Q^*$, $m_x \rightarrow q$, $\sigma_x \rightarrow \sqrt{(1-q)q/N}$.

$$\text{Тогда:} \quad \xi = \sqrt{N} (Q^* - q) / \sqrt{(1-q)q} \quad (4.8)$$

В соответствии с центральной предельной теоремой с увеличением числа рейсов N распределение случайной величины ξ стремится к нор-

мальному распределению $N(0,1)$ при $N \rightarrow \infty$. В силу симметрии нормального распределения получим:

$$Q^* - q = \xi \frac{\sqrt{(1-q)q}}{\sqrt{N}} \quad (4.9)$$

$$\text{и } a_\alpha(q) = q - \xi \sqrt{(1-q)q/N}, \quad b_\alpha(q) = q + \xi \sqrt{(1-q)q/N}, \quad (4.10)$$

где ξ определяется уравнением:

$$P(|Q^* - q| < \xi \sqrt{(1-q)q/N}) = 2\Phi(\xi) = \alpha \quad (4.11)$$

Поскольку ξ не зависит от q кривые $Q^* = a_\alpha(q)$ и $Q^* = b_\alpha(q)$ в этом случае представляют собой части эллипса с уравнением $N(Q^* - q)^2 = \xi^2 q(1-q)$ с центром в точке $q = Q^* = \frac{1}{2}$, касающегося вертикальных прямых $q=0$, $q=1$.

Доверительный границы Q_1 , Q_2 в этом случае находятся из уравнения эллипса:

$$Q_1, Q_2 = \frac{Q^* + \xi^2/2N}{1 + \xi^2/N} \pm \frac{\xi}{1 + \xi^2/N} \sqrt{\frac{Q^*(1-Q^*)}{N} + \frac{\xi^2}{4N^2}} \quad (4.12)$$

Среднее квадратическое отклонение частоты обратно пропорционально \sqrt{N} . Следовательно, точность оценки вероятностей повышается с увеличением числа рейсов.

При расчете доверительного интервала для Q^* , уровень риска в одном рейсе q может быть получен аналитическими методами на этапе проектирования и уточненным на этапе дорожных испытаний.

Найдем доверительный интервал, к примеру, для математического ожидания числа ДТП $m_{\text{ДТП}}$.

Ежегодные наблюдения за количеством ДТП в автотранспортном предприятии позволяют оформить N -мерный вектор $U = [n_{\text{ДТП}_1} \dots n_{\text{ДТП}_N}]^T$ и введем величину:

$$\frac{(\overline{n_{ДТП}} - m_{n_{ДТП}})\sqrt{N}}{\sigma_{n_{ДТП}}^*} = t_{N-1}, \quad (4.13)$$

где $\overline{n_{ДТП}}$ – среднее арифметическое количество ДТП;

$$\sigma_{n_{ДТП}}^{*2} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (n_{ДТП_i} - \overline{n_{ДТП}})^2 \text{ – дисперсия выборок числа ДТП.}$$

В математической статистике доказывается, что введенная случайная величина при нормальном распределении $\overline{n_{ДТП}}$ имеет Стюдентово t – распределение с $N - 1$ степенями свободы. Плотность вероятности этого распределения будет иметь вид:

$$f(t_n) = \frac{\Gamma[(n+1)/2]}{\sqrt{\pi n} \Gamma(n/2)} \left[1 + \frac{t_n^2}{n}\right]^{-(n+1)/2} \quad (4.14)$$

где $n=N-1$,
$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-t_n} t_n^{n-1} dt_n.$$

Доверительный интервал для $m_{n_{ДТП}}$ определяется теперь неравенством:

$$\left[\overline{n_{ДТП}} - \frac{\sigma_{n_{ДТП}}^* t_{N-1;\alpha/2}}{\sqrt{N}} \leq m_{n_{ДТП}} < \overline{n_{ДТП}} + \frac{\sigma_{n_{ДТП}}^* t_{N-1;\alpha/2}}{\sqrt{N}} \right] \quad (4.15)$$

Дисперсия выборок ДТП имеет вид

$$\sigma_{n_{ДТП}}^{*2} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (n_{ДТП_i} - \overline{n_{ДТП}})^2$$

Случайная величина
$$\frac{\sum_{i=1}^N (n_{ДТП_i} - \overline{n_{ДТП}})^2}{\sigma_{n_{ДТП}}^2} = \chi_{N-1}^2 \quad \text{или} \quad \frac{(N-1)S^2}{\sigma_{n_{ДТП}}^2} = \chi_{N-1}^2 \quad \text{имеет}$$

χ_n^2 – квадрат распределение с $N - 1$ степенями свободы с плотностью вероятностей вида:

$$f(\chi_n^2) = [2^{n/2} \Gamma(n/2)]^{-1} (\chi_n^2)^{(n/2-1)} e^{-\chi_n^2/2}, \quad (4.16)$$

где $n=N-1$.

Отсюда находим доверительный интервал для дисперсии:

$$\left[\frac{(N-1)\sigma_{n_{дтп}}^{*2}}{\chi_{N-1; \alpha/2}^2} \leq \sigma_{n_{дтп}}^2 < \frac{(N-1)\sigma_{n_{дтп}}^{*2}}{\chi_{N-1; 1-\alpha/2}^2} \right]. \quad (4.17)$$

4.3. Применение корреляционного и регрессионного анализов для оценки влияния эксплуатационных факторов на безопасность дорожного движения

Для того, чтобы проанализировать уровень аварийности и транспортного травматизма по различным факторам, необходимо выявить, в какой степени зависит от каждого фактора X_1, X_2, \dots, X_n распределение определяющего параметра Y .

С точки зрения математической статистики поставленная задача представляет собой задачу оценивания значения ненаблюдаемой случайной величины Y по данному значению величины x (в частности, по полученному в результате наблюдения значению x случайной величины X).

Пусть $y^* = y^*(x)$ – оценка значения величины Y при данном x . Ошибка этой оценки $y^* - Y$ представляет собой случайную величину. Точность оценки y^* целесообразно характеризовать средним квадратом ошибки при данном значении x :

$$\zeta(x) = M[|y^*(x) - Y|^2/x]. \quad (4.18)$$

Рассмотрим сначала случай скалярной величины Y . Средний квадрат ошибки оценки y^* будет минимальным, если принять за y^* математическое ожидание случайной величины Y при данном x

$$y^*(x) = m_y(x) = M[Y/x] \quad (4.19)$$

Эта формула определяет наилучшую оценку величины Y при данном x .
В случае векторной величины $Y = [Y_1, \dots, Y_m]^T$:

$$\xi(x) = M[|y^* - Y/x|] = \sum_{p=1}^m M[|y_p^* - y_p|^2 / x] \quad (4.20)$$

Отсюда видно, что величина $\xi(x)$ минимальна тогда и только тогда, когда каждое слагаемое в (4.20) имеет минимальное значение.

Таким образом, необходимо выявить как в среднем изменяется зависящая величина Y при изменении факторов X_1, X_2, \dots, X_n . Для этих целей может быть использован регрессионный и корреляционный анализ.

По имеющимся статистическим данным $X_k, X_{1k}, X_{2k}, \dots, X_{nk}$ ($k=1, m$) определяется уравнение регрессии:

$$m_{Y_p} = f(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (4.21)$$

Зависимость (4.21) может быть как линейной, так и нелинейной. Наиболее часто используется предположение о линейности уравнения регрессии:

$$m_{Y_p} = a + \sum_{j=1}^n b_j X_j. \quad (4.22)$$

В этом уравнении a, b_j – коэффициенты множественной регрессии, подлежащие определению. Расчет коэффициентов a, b_j производится методом наименьших квадратов, в соответствии с которым

$$I = \sum_{k=1}^m (Y_k - a - b_1 X_{1k} - b_2 X_{2k} - \dots - b_n X_{nk})^2 = \min. \quad (4.23)$$

На основе критерия (4.23) составляется система нормальных алгебраических уравнений, позволяющая определить неизвестные коэффициенты $\frac{dI}{da} = 0, \frac{dI}{db_j} = 0, (j = 1, n)$.

Разброс значений параметра Y относительно m_{Y_p} определяется уравнением множественной линейной регрессии (4.22), оценивается средним квадратичным отклонением:

$$\sigma_{Y, X_1, \dots, X_m} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (Y_k - m_{Y_{PK}})^2}{n - m - 1}} . \quad (4.24)$$

Корреляционный анализ позволяет выявить, какая доля вариации параметра Y объясняется вариацией факторов X_1, \dots, X_n . Для оценки силы связи между Y и всеми факторами X_1, \dots, X_n используется квадрат коэффициента множественной корреляции:

$$r_{Y, X_1, \dots, X_n}^2 = 1 - \frac{\sigma_{Y, X_1, \dots, X_n}^2 (n - m - 1)}{\sigma_Y^2 (n - 1)} , \quad (4.25)$$

где σ_Y – среднее квадратичное отклонение параметра Y , определяемое выражением:

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (Y_k - m_Y)^2}{n - 1}} . \quad (4.26)$$

Чистое влияние каждого фактора X_j на параметр Y количественно может быть оценено квадратом коэффициента частной корреляции:

$$r_{Y, X_j, X_1, \dots, X_{j-1}, X_{j+1}, X_n}^2 = 1 - \frac{1 - r_{Y, X_1, \dots, X_n}^2}{1 - r_{Y, \dots, X_{j-1}, X_{j+1}, \dots, X_n}^2} , \quad (4.27)$$

где $r_{Y, X_1, \dots, X_{j-1}, X_{j+1}, \dots, X_n}^2$ – квадрат коэффициента множественной корреляции, вычисленного при исключении фактора X_j из анализа.

Коэффициент частной корреляции измеряет корреляцию (вероятную зависимость) между параметром Y и фактором X_j при исключении линейной связи Y с остальными факторами, искажающими эту корреляцию.

4.4. Выбор профилактических мероприятий, максимально эффективных для обеспечения безопасности дорожного движения

4.4.1. Выбор мероприятий направленных на обеспечение безопасности дорожного движения в условиях ограниченных ресурсов и времени

Практика все чаще показывает, что необходимо развитие новых, научно обоснованных методов управления автотранспортными предприятиями. Применительно к задаче выбора руководителем оптимального решения, где наиболее сильно сталкиваются интересы повышения безопасности дорожного движения, эффективности, экономичности, развитие новых методов имеет большое практическое значение.

Рассматриваемая система ВАДС относится к сложным человеко-машинным системам. Здесь нет необходимости описывать ее свойства, однако, одно характерное свойство нельзя оставить без внимания. Для рассматриваемых систем, типа ВАДС, очень важна проблема единоличного руководителя. От его решения зависит выполнение поставленных перед предприятием задач, а на подготовительном этапе – подготовка транспортных средств и организации движения, а в конечном итоге финансовое состояние предприятия зависят настолько, насколько эффективный путь решения этих задач избран руководителем.

Рассмотрим одну из задач, стоящих перед руководителем и персоналом автотранспортного предприятия. Это, как уже было отмечено выше, задача повышения безопасности движения на этапе эксплуатации. Эта сложная задача может быть представлена набором задач более низкого уровня, вытекающим из анализа причинно-следственных связей возникновения дорожно-транспортных происшествий и опасных ситуаций. Исходя из этого анализа, мы вынуждены прийти к ряду мероприятий, направленных на устранение причин дорожно-транспортных происшествий, что, в конечном счете, приведет к снижению аварийности и транспортного травматизма.

4.4.1.1. Общая постановка задачи

Предположим, что мы имеем перечень мероприятий, направленных на повышение и снижение аварийности и транспортного травматизма. Допустим, что мы имеем оценку ожидаемой эффективности каждого мероприятия и время, необходимое для его подготовки и проведения. Цель наших действий заключается в выборе из существующего перечня тех мероприятий, которые обеспечат максимальный уровень эффективности. Пусть значения ожидаемой эффективности каждого мероприятия найдены путем экспертных оценок (каждая в интервале от нуля до единицы) или каким-либо другим способом.

Задачу можно решать в следующих предположениях:

а) мероприятия не накладываются во времени (то есть выполняются последовательно одно за другим);

б) мероприятия накладываются во времени только частями, идущими на подготовку мероприятий;

в) мероприятия накладываются во времени каким-либо другим способом (например, и временем подготовки, и временем выполнения).

Задача, поставленная в предположениях пункта в), требует более подробного анализа статистических данных на предмет совместимости мероприятий и применения методов теории принятия решений.

4.4.1.2. Нормировка эффективности мероприятий

При условии, что число мероприятий счетно, но не представляет полную группу событий с точки зрения достижения полной безопасности движения, примем для удобства максимальный уровень эффективности, которого можно достичь при выполнении всего комплекса мероприятий, равным единице.

Так как
$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_i,$$

то
$$\bar{P} = \frac{1}{P_{\Sigma}} \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N \bar{P}_i, \text{ где } P_i = \frac{P_i}{P_{\Sigma}}$$

Тогда \bar{P}_i можно трактовать как условную ожидаемую эффективность i -го мероприятия из рассматриваемого перечня мероприятий, подлежащих выполнению (в дальнейшем полагаем эффективность мероприятий нормированными величинами).

Пусть исходный перечень содержит N мероприятий, причем для каждого i -го мероприятий ($i = 1, \dots, N$) известно:

P_i – ожидаемая эффективность i -го мероприятия;

$T_i = T_{in} + T_{inp}$ время каждого i -го мероприятия,

где T_{in}, T_{inp} – время подготовки и проведения i – мероприятия соответственно.

Введем функцию состояния α ($\alpha_1, \dots, \alpha_N$),

где $\alpha_i = 0$, если i – ое мероприятие не проводится;

$\alpha_i = 1$, если i – ое мероприятие проводится

Тогда с учетом сделанных предположений:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \\ T_{\Sigma} &= T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \end{aligned}, \quad (4.28)$$

где P_{Σ} и T_{Σ} – показатели суммарной эффективности и суммарного времени, зависящие от значения функции $\alpha(\alpha_1, \dots, \alpha_N)$.

Опишем три типа задач, возникающих при рассмотрении системы (4.28).

1. Пусть задан ресурс времени Tr , то есть время, отпущенное на подготовку и проведение комплекса мероприятий из заданного перечня. Необходимо обеспечить максимальный уровень эффективности.

$$\begin{aligned} \max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \max \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \\ T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_i) &= \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \geq P_3 \end{aligned} \quad (4.29)$$

2. Пусть задан уровень эффективности P_3 , которого необходимо достигнуть за минимальное время:

$$\begin{aligned} \min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \\ P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \geq P_3 \end{aligned} \quad (4.30)$$

3. Необходимо за минимальное время в интервале $(0, T_p)$ обеспечить максимальный уровень эффективности:

$$\begin{aligned} \min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \\ \max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \max \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \\ T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &\leq T_p \end{aligned} \quad (4.31)$$

Все три задачи имеют смысл в различных ситуациях, возникающих на практике при разработке перечня мероприятий, направленных на обеспечение безопасности движения. Методически можно воспользоваться решением одной задачи для приближенного решения другой.

Заметим, что функции $P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N)$, $T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ дискретны, что затрудняет решение задач. Наиболее просто решается задача (4.30). Для её решения удобно использовать критериальный подход, оценивая каждое мероприятие в отдельности по критерию P_i/T_i , который можно трактовать как приращение эффективности в единицу времени при выполнении i -го мероприятия. Такая трактовка критерия P_i/T_i вполне допустима, хотя формально об эффективности мероприятия как о величине действительно определенной можно говорить только по окончании мероприятия, то есть в момент времени T_i , когда мероприятие выполнено. Это условие и является причиной дискретности исходных функций (4.28). Для функций P и T , непрерывных во времени, параметр P/T имеет конкретный физический смысл, как и величина dP_i/dT_i – приращение эффективности в единицу времени (производная эффективности по времени).

4.4.1.3. Решение задачи достижения максимальной эффективности за минимальное время, ограниченное в интервале $(0, T_P)$ критериальным методом

Рассмотрим более подробно задачу 3. Для её решения был предложен критерий P_i/T_i . Покажем, что комплекс мероприятий, подобранных в порядке убывания величины P_i/T_i , начиная с максимального и удовлетворяющий условию задачи 3:

$$T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) \leq T_P$$

будет являться решением рассматриваемой задачи. Исходная система имеет вид:

$$\min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i$$

$$\max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \max \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i$$

$$T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \leq T_P \quad (4.32)$$

Пусть найдено решение этой системы, представленное вектором:

$$\alpha_0 = \alpha(\alpha_1^0, \dots, \alpha_N^0),$$

тогда система запишется в виде:

$$\min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0$$

$$\max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \max \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i^0$$

$$T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0 \leq T_P \quad (4.33)$$

До множим первое уравнение системы на некоторую величину λ ($\lambda > 0$) и вычтем из второго уравнения системы:

$$\min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0$$

$$\max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) - \min \lambda T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i^0 - \sum_{i=1}^N \lambda T_i \alpha_i^0$$

$$T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0 \leq T_P \quad (4.34)$$

Полученная система равносильна следующей системе:

$$\min T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \min \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0$$

$$\max P_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) - \min \lambda T_{\Sigma}(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{i=1}^N (P_i - \lambda T_i) \alpha_i^0$$

$$\sum_{i=1}^N T_i \alpha_i^0 \leq T_P \quad (4.35)$$

Рассмотрим второе уравнение системы (4.35). Значения функций P_{Σ} и T_{Σ} определены на положительной вещественной оси. Очевидно, что всегда найдется такая величина λ ($\lambda > 0$), что выполнится условие: $P_{\Sigma} > \lambda T_{\Sigma}$

Тогда будет справедливо следующее соотношение:

$$\max(P_{\Sigma} - \lambda T_{\Sigma}) = \max - \lambda \min T_{\Sigma} \quad (4.36)$$

Справедливо также и обратное:

$$\max(P_{\Sigma} - \lambda \min T_{\Sigma}) = \max(P_{\Sigma} - \lambda T_{\Sigma}) \quad (4.37)$$

Тогда второе уравнение системы (4.35) с учетом (4.37) запишется в виде:

$$\max(P_{\Sigma} - \lambda T_{\Sigma}) = \sum_{i=1}^N (P_i - \lambda T_i) \alpha_i^0 \quad (4.38)$$

Обозначим выражение, стоящее в скобках в левой части уравнения (4.38) через Q_{λ}

$$Q_{\lambda} = P_{\Sigma} - \lambda T_{\Sigma}$$

или

$$Q_\lambda = \sum_{i=1}^N (P_i - \lambda T_i) \alpha_i \quad (4.39)$$

Тогда, очевидно, задача заключается в нахождении экстремума функционала Q_λ при заданных фиксированных значениях λ ($\lambda > 0$), к удовлетворению третьего условию системы (4.35). Пусть необходимо обеспечить максимум функционала Q_λ . Для этого в него должны быть включены все неотрицательные члены, а именно должно быть выполнено условие:

$$P_i - \lambda T_i \geq 0$$

или

$$P_i / T_i \geq \lambda \quad (4.40)$$

Из последнего становится очевиден физический смысл величины λ : величина задает уровень параметра P_i / T_i , а следовательно, и ряд мероприятий, удовлетворяющих этому уровню λ и составляющих, таким образом, экстремум функционала Q_λ . Таким образом, решением системы (4.40) будет являться ряд мероприятий, составляющих экстремум функционала Q_λ к удовлетворяющих третьему условию системы:

$$T_\Sigma(\alpha_1, \dots, \alpha_N) \leq T_p$$

Покажем связь между заданным ресурсом времени T_p и величиной λ . Так как ряд мероприятий, составляющих решение, отбирается по критерию (4.40) $P_i / T_i \geq \lambda$ вектор α суммарное время T_Σ зависят от величины λ :

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha(\lambda) \\ T_\Sigma &= T_\Sigma(\alpha(\lambda)) \end{aligned}$$

Тогда варьируя параметр λ , можно легко найти такое его значение, что суммарное время мероприятий, составляющих экстремум функционала Q_λ , будет удовлетворять условию:

$$T_{\Sigma}(\alpha(\lambda)) \leq T_p$$

Обозначим это значение λ через λ_p , а соответствующее ему значение T_{Σ} через T_p . Тогда комплекс мероприятий, соответствующих вектору $\alpha(\lambda_p)$, и будет являться решением системы (4.35):

$$\alpha^0 = \alpha(\lambda_p)$$

Поясним последнее с помощью диаграммы (рисунок 4.1).

Решение системы (4.35) строится следующим образом: мероприятия на диаграмме расположены в порядке убывания параметра P_i/T_i .

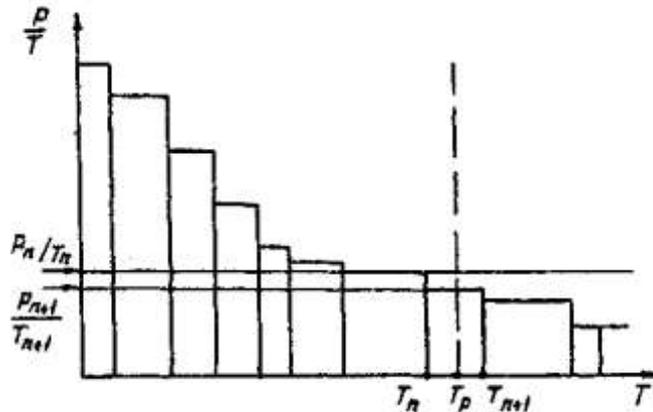


Рисунок 4.1 – Диаграмма

Последнее мероприятие, входящее в интервал $[0, T_p]$ и последующее, уже не лежащее в интервале, но возможно имеющее с ним общий отрезок пересечения (по оси T), обозначим через n и $n + 1$ соответственно. Тогда величины P_{n+1}/T_{n+1} и P_n/T_n будут определять уровень параметра λ :

$$\frac{P_{n+1}}{T_{n+1}} \leq \lambda_p \leq \frac{P_n}{T_n} \quad (4.41)$$

Этому интервалу величины λ_p соответствует единственное значение $T_\Sigma(\alpha(\lambda_p)) \leq T_p$, где $\alpha(\lambda_p)$ описывает комплекс мероприятий, являющихся решением системы (4.35). Полученное решение позволяет утверждать, что большей эффективности, чем $P_\Sigma(\alpha(\lambda_p))$ за равное или меньшее время, чем $T_\Sigma(\alpha(\lambda_p))$ достигнуть невозможно.

Для построенного в порядке убывания параметра P_i/T_i ряда мероприятий этот вывод справедлив для каждого момента времени T_i .

Итак, в процессе решения задачи 3 был построен ряд мероприятий, обеспечивающий максимальную эффективность за минимальное время. Условие ограничения ресурса времени в этой задаче влияло лишь на количество мероприятий, подлежащих выполнению в соответствии с условием:

$$T_\Sigma \leq T_p$$

Алгоритм решения задачи 3 при этом не меняется.

Алгоритм решения задачи 2.

По условию задачи 1:

$$\begin{aligned} \max P_\Sigma(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \max \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \\ T_\Sigma(\alpha_1, \dots, \alpha_N) &= \sum_{i=1}^N T_i \alpha_i \leq T_p \end{aligned} \quad (4.42)$$

необходимо обеспечить максимальный уровень эффективности при заданном ресурсе времени.

Рассмотрим отличие решения задачи 2 от решения задачи 3.

Решением задачи 2 будет являться комплекс мероприятий, обеспечивающий максимальную эффективность за ограниченное время, таким образом, в первой задаче, в отличие от третьей, не требуется обеспечения минимального времени при достижении максимальной эффективности. Это значит, что, проигрывая во времени по сравнению с суммарным временем задачи 3 ($T_{\Sigma_3} = T_n$) (рисунок 4.2), можно выиграть в суммарной эффективности:

$$P_{\Sigma_2} > P_{\Sigma_3} \quad (P_{\Sigma_3} = P_n)$$

Однако решение задачи 3 совпадает с решением задачи 2, когда $T_{\Sigma_3} = T_p$, так как большей эффективности за время меньшее или равное T_{Σ_3} ($T_{\Sigma_3} = T_n$) достичь невозможно. Пользуясь этим выводом, имеем довольно простую оценку суммарной эффективности P_{Σ_1} для первой задачи (рисунок 4.2).

$$P_n \leq P_{\Sigma_1} \leq P_{n+1} \quad (4.43)$$

Этот интервал можно сузить, заменяя верхний предел P_{n+1} на величину $P_n + \Delta S$, где ΔS – площадь заштрихованная на рисунке 5.18. Она эквивалентна эффективности мероприятия P_{n+1} , если время его проведения равно

$$\Delta T = T_p - T_n, \text{ то есть (рисунок 4.2)} \quad \Delta S = \frac{P_{n+1}}{T_{n+1}} \Delta T$$

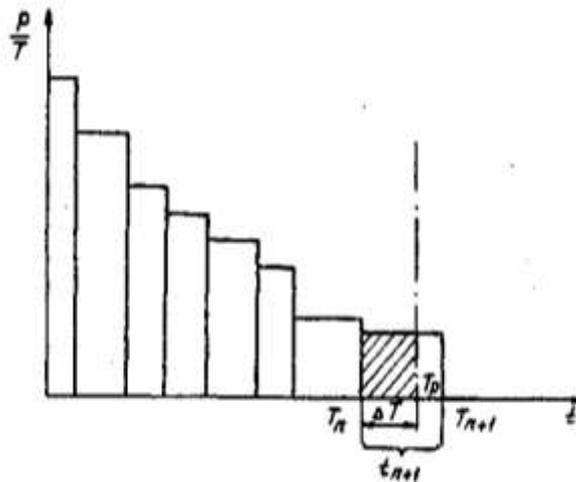


Рисунок 4.2 – Диаграмма

Все остальные оставшиеся мероприятия имеют величины параметров P_i/T_i меньшие, чем P_{n+1}/T_{n+1} , поэтому большей площади, чем ΔS , а следовательно, и большей эффективности за время ΔT получено быть не может.

Для удобства введем относительную величину δ :

$$\delta = \frac{\Delta S}{P_n}; \quad T_n < T_P$$

$$\delta = 0; \quad T_n = T_P$$

Тогда мы всегда сможем сказать, с какой относительной погрешностью суммарная эффективность P_{Σ_3} (для решения задачи 3) аппроксимирует суммарную эффективность P_{Σ_1} . В зависимости от величины δ можно судить, с какой степенью точности решение задачи 3 можно считать решением задачи 1. Если δ велика, то предлагается следующий метод поиска решения:

1. Оценим величину неиспользованного времени для комплекса мероприятий, являющегося решением задачи 3: $\Delta T = T_P - T_n$.

2. Сравним времена оставшихся мероприятий из упорядоченного ряда с величиной ΔT . При наличии мероприятий, времена которых удовлетворяют неравенству $T_i \leq \Delta T$, решаем на интервале ΔT задачу 3. Соответственно $P_{\Sigma} = P_{\Sigma_{3,\Delta T}}$. Если мероприятий, времена которых удовлетворяют условию $T_i \leq \Delta T$, нет, отбрасываем последнее мероприятие ряда, являющееся решением задачи 3 и решаем задачу 3 на расширенном интервале времени (рисунок 4.3).

$$\Delta T + t_n$$

Выбираем мероприятия из оставшихся, за исключением отброшенного.

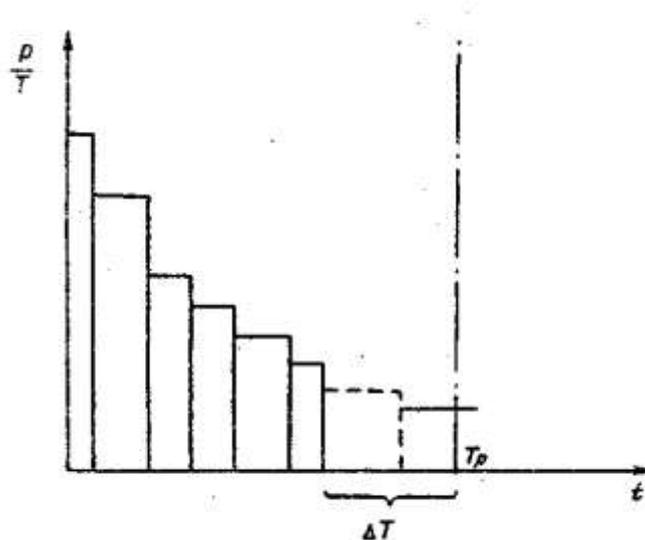


Рисунок 4.3 – Диаграмма

3. Находим относительную погрешность δ , предварительно сравнивая получившуюся суммарную эффективность с первоначальной P_{Σ_3} .

Решение задачи целесообразно вести подобным образом, отбрасывая мероприятия и расширяя временной интервал, уточняя решения, пока не минимизируются величины:

$$\Delta T = T_p - T_n \quad \text{и} \quad \delta = \Delta S / P_n$$

4. Проверка на замещение мероприятий упорядоченного ряда.

Из P_{n+1} (рисунок 4.3) надо вычесть P_i , для которых выполняется условие $t \geq \Delta T'$, где $\Delta T' = T_{n+1} - T_p$ и выбрать из них мероприятия с минимальной эффективностью P_i . Если выполняется условие

$$P_{n+1} - P_i > P_{\Sigma_3, \Delta T}, \quad (4.44)$$

где $P_{\Sigma_3, \Delta T}$ – решение 3 задачи на интервале $\Delta T = T_p - T_n$, то исключаем мероприятие P_i из списка мероприятий, подлежащих выполнению. Суммарная эффективность тогда будет равна $P_{\Sigma} = P_n + P_{n+1} - P_i$. Она по условию (4.44) больше, чем $P_{\Sigma} = P_n + P_{n+1} - P_{\Sigma_3, \Delta T}$, то есть P_{Σ} , найденное в пункте 2, так как

$$P_n + P_{n+1} - P_i > P_n + P_{\Sigma_3, \Delta T}$$

Полученные результаты позволяют оперативно решать задачу выбора мероприятий, обеспечивающих максимально возможную эффективность в условиях ограниченных ресурсов и дефиците времени. Область применения методики достаточно широка и определяется физическим смыслом, заложенным в эффективность мероприятий P_i , дефицит ресурсов и времени T . Это может быть областью обеспечения безопасности движения, эффективности выполнения учебных задач, модернизации и совершенства производственных процессов и другое.

Глава 5. Влияние неисправностей транспортных средств на безопасность дорожного движения

5.1. Статистические данные и классификация неисправностей транспортных средств

Надежность автотранспортных средств оказывает существенное влияние на состояние аварийности и транспортного травматизма. Как показывает статистика, из-за технических неисправностей в среднем в год происходит от 3 до 5% дорожно-транспортных происшествий. Этот показатель может значительно отклоняться от среднего значения в зависимости от вида транспортных средств, количества лет эксплуатации, погодных условий, качества эксплуатации, технического обслуживания и так далее. Проводимые НИЦ ГИБДД исследования показывают, что около 50% ДТП по техническим неисправностям связано с неисправностью тормозных систем (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Причины ДТП, связанные с неисправностями автомобилей

Неисправные элементы	Количество ДТП из-за технических неисправностей ТС, %
Тормозные системы	49,1
Устройства обзора дороги	13,2
Внешние световые приборы	11,3
Звуковая сигнализация	9,4
Колеса и шины	1,9
Дополнительное оборудование	3,8
Рулевое управление	3,8
Прочие	7,5
Всего	100

При рассмотрении влияния неисправностей транспортных средств на состояние аварийности необходима классификация, учитывающая характер их последствий. Как следует из структуры вероятностных показателей, влияние неисправностей транспортного средства на безопасность движения определяются их интенсивностью λ_i и условными вероятностями предотвращения их последствий r_{Ti} . Интенсивности неисправностей λ_i могут быть рассчитаны мето-

дами теории надежности или определены статистическими данными эксплуатации. Расчет условных вероятностей r_{Ti} является специфической задачей безопасности движения, так как требует знания возможностей водителя и самой техники по устранению последствий неисправности. Наиболее опасными неисправностями техники являются неисправности, приводящие к аварийной или катастрофической ситуации. К числу таких неисправностей относятся: рассоединение элементов системы рулевого управления, заклинивание рулевого управления, неисправности тормозной системы и другие. Такие неисправности недопустимы в эксплуатации ($r_{Ti} = 0$). Часть неисправностей практически не оказывает влияния на безопасность движения ($r_{Ti} \cong 1$). Такие неисправности в дальнейшем рассматриваться не будут. Значительно чаще в движении возникают неисправности, последствия которых с определенной вероятностью ($0 < r_{Ti} < 1$) устраняются водителем. Для этих неисправностей последствия по своему характеру могут быть самые разнообразные, но конечным следствием неисправности, как правило, является отклонение параметров движения транспортного средства от желаемых. По конечному следствию можно выделить следующие группы неисправностей .

1. **Активные неисправности** вызывают изменение сил и моментов, действующих на транспортное средство и, как следствие этого, нежелательное изменение параметров движения. В зависимости от природы неисправности, такое изменение параметров может быть быстрым или медленным, апериодическим или колебательным, кратковременным или постоянным. Примерами таких неисправностей являются неисправности тормозной системы, рулевого управления, отсоединение колеса и другие.

2. **Пассивные неисправности** не вызывают непосредственно изменения сил и моментов действующих на транспортное средство, но они усложняют условия деятельности водителя, что в конечном счете может привести к изменению параметров движения.

Эту группу неисправностей можно разделить на две категории:

а) неисправности, приводящие к нарушению соответствия свойств транс-

портного средства свойствам водителя (неисправность гидроусилителя рулевого управления);

б) неисправности, лишаящие водителя определенной информации о состоянии транспортного средства (неисправности спидометра, манометра давления воздуха в тормозной системе).

Автотранспортное средство состоит из множества элементов. Оценить влияние каждой неисправности на безопасность дорожного движения достаточно сложно. Для решения этой задачи необходимо в каждой функциональной системе все многообразие неисправностей свести к нескольким типам.

5.2. Подход к оценке безопасности дорожного движения при возможных неисправностях транспортных средств

Действия водителя по предотвращению последствий неисправностей техники должны быть направлены в первую очередь на устранение нежелательного изменения параметров движения. Вмешательство в управление может выражаться в отклонении органов управления, включения системы (например, тормозной). Последствия неисправности водитель обнаруживает не сразу, не мгновенно, а через определенное время, то есть вмешивается в управление с запаздыванием. Допустим, что в некоторый момент времени $t=0$ в движении возникла неисправность агрегата или системы, что привело к изменению параметров движения (рисунок 5.1).

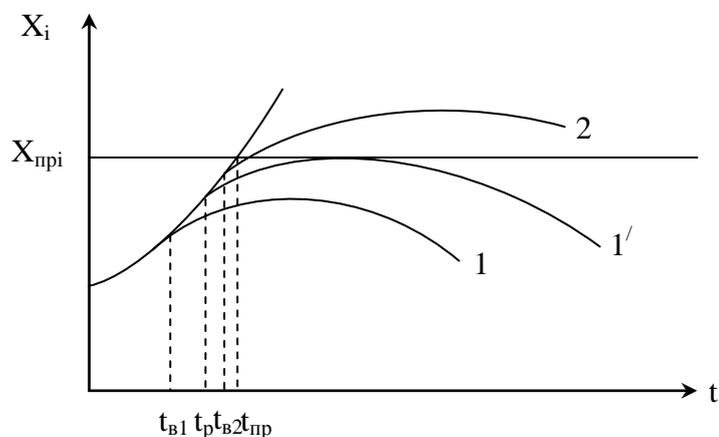


Рисунок 5.1 – Схема вмешательства водителя в управление автомобилем

Без вмешательства водителя в управление определяющий параметр x_i спустя некоторое t_{np} достигнет, а в дальнейшем и превысит предельное значение. В простейшем случае можно полагать, что это приведёт к дорожно-транспортному происшествию. Время t_{np} зависит от интенсивности возмущающегося действия, явившегося следствием неисправности, а также условиями движения. Время t_{np} случайно, так как в процессе изменения параметра x_i транспортное средство может подвергнуться случайным воздействиям внешней среды, например, сильному порыву ветра, наезду на препятствие и других.

Реально водитель, обнаружив отклонение параметра движения x_i от заданного значения, вмешивается в управление с целью недопущения его выхода за предельное значение, а в дальнейшем и для стабилизации. Успех действий водителя при прочих заданных условиях будет зависеть от времени его запаздывания с вмешательством t_b и от характера его действий (например, угла δ и скорости $\dot{\delta}$ отклонения рулевого колеса). При этом можно выделить три характерных случая вмешательства водителя в управление: своевременное вмешательство в управление ($t_b = t_{b1}$) – параметр x_i не достигает x_{inp} (кривая 1); несвоевременное вмешательство в управление ($t_b = t_{b2}$) параметр x_i превысит x_{inp} (кривая 2); граничный случай – запаздывания водителя t_b и характер его вмешательства таковы, что параметр x_i лишь достигает x_{inp} , но не превышает его (кривая 1'). Время запаздывания вмешательства водителя при этом соответствует его располагаемому времени t_p . Реально и время запаздывания вмешательства водителя t_b и его располагаемое время t_p случайны.

Если последствия неисправности проявляются только на начальном этапе, непосредственно следующим за неисправностью, то достаточным условием предотвращения последствий неисправности является своевременное вмешательство водителя в управление и вероятность этого события запишется формулой:

$$r_{Ti} = p \cdot (x_i < x_{inp}) = p_0 \cdot (t_b < t_p), \quad (5.1)$$

где x_i – параметр, претерпевающий наиболее быстрое изменение при не-

исправности, так называемый критический определяющий параметр.

Если последствия неисправности проявляются и на последующих этапах движения $(1, 2, \dots, k, \dots, m)$, то условие своевременного вмешательства водителя в управление $t_e < t_p$ является необходимым, но недостаточным для предотвращения последствий неисправности. Достаточным условием предотвращения последствий неисправности является при этом невыход определяющих параметров движения за свои предельные значения на всех этапах движения, где проявляются последствия неисправности. Вероятность этого сложного события при условии независимости событий предотвращением последствий неисправности на разных этапах запишется:

$$r_T = p_0 p_1 \dots p_k \dots p_m, \quad (5.2)$$

где p_k – вероятность предотвращения последствий неисправности на k -ом этапе движения, определяемая как $p_k = p(x_{jk} < x_{jkn})$, $j = \overline{1, n}$ то есть вероятность того, что ни один из n определяющих параметров не выйдет за предельные значения.

Вероятности (5.1) и (5.2) могут быть определены в дорожных испытаниях. Для оценки безопасности движения расчетным путем или моделированием необходимо располагать сведениями о характеристиках модели действий водителя при неисправностях АТС.

5.3. Схемы моделей действий водителя при неисправностях транспортных средств

Под моделью действий водителя будем понимать алгоритм, характеризующий последовательность и структуру действий водителя в опасной ситуации. Модель может содержать качественное описание действий водителя (их логику) или их количественные характеристики. В последнем случае модель является математической, она представляется определенным математическим выражением: дифференциальным уравнением, передаточной функцией

ей, функциональными соотношениями и так далее.

Структура модели водителя существенно зависит от характера опасной ситуации, к которой приводит появление неблагоприятного фактора. Поэтому создание универсальной модели действий водителя, пригодной для исследования безопасности движения при любых неблагоприятных факторах, сопряжено с большими трудностями. В настоящее время идут по пути создания частных моделей вполне конкретных опасных ситуаций.

Рассмотрим структуру модели действий водителя для опасной ситуации, при которой наблюдается быстрое изменение параметров движения автомобиля (резкое отклонение в траектории движения). Для устранения этой причины в двигательных реакциях водителя можно выделить три этапа:

– первый этап – запаздывание по времени с вмешательством в управление (водитель вмешивается в управление отклонением рулевого колеса X_B спустя $t_B > 0,3$ секунды);

– второй этап – устранение нарастания изменения параметров движения (отклонив рулевое колесо, водитель выдерживает его в отклоненном положении до тех пор, пока угол поворота автомобиля, разворота не начал изменяться в сторону возвращения к исходному значению);

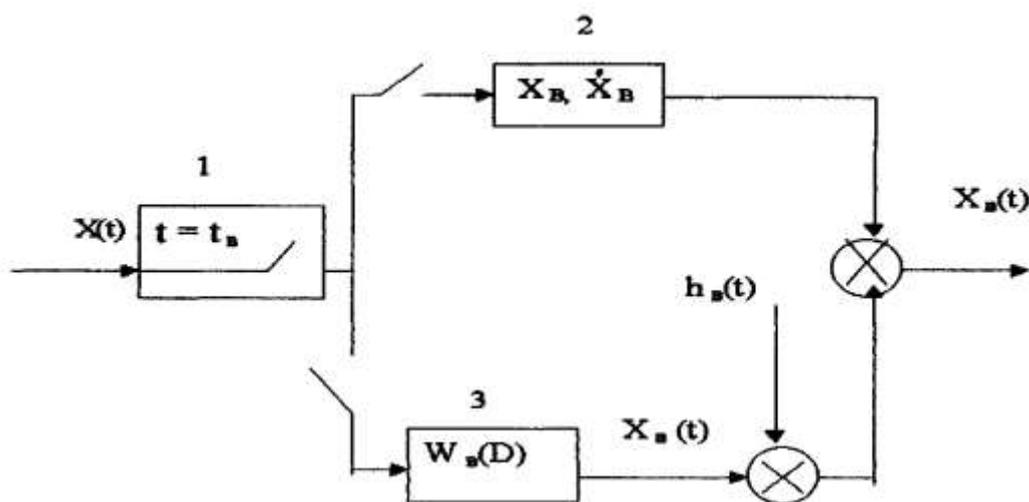


Рисунок 5.2 – Схема модели действий водителя

– третий этап – стабилизация параметров движения рулевого колеса

направлена на стабилизацию нужных значений параметров движения. Указанным закономерностям в двигательных реакциях водителя соответствует модель действий водителя, схема которой изображена на рисунке 5.2.

Входом модели является отклонение параметра движения Δx от заданного значения, например, отклонения от заданного радиуса траектории движения, выходом модели является отклонение X_B рулевого колеса водителем. Модель включает три звена: звено 1 учитывает запаздывание вмешательства водителя в управление $t = t_B$; звено 2 характеризует параметры первой двигательной реакции водителя (X_B, \dot{X}_B) , направленной на прекращение нарастания параметров движения (X_B, \dot{X}_B) – соответственно величина отклонения рулевого колеса и его скорость); звено 3 характеризует динамические свойства водителя при стабилизации им заданных значений параметров движения и представляется квазилинейной передаточной функцией $W_B(D)$.

К выходу звена 3 приложен «шум» модели водителя $h_B(t)$, являющейся той частью его двигательной реакции, которая не определяется передаточной функцией $W_B(D)$, $h_B(t) = X_B(t) - X_{BO}(t)$. «Шум» в модели водителя учитывает нестационарность, дискретность и нелинейность его моторных реакций.

Переключение модели со звена 1 на звено 2 происходит в момент $t = t_B$ со звена 2 на звено 3 – в момент $t = t_B + \Delta t$, соответствующий нулевому значению производной по времени от определяющего параметра.

В соответствии с моментами переключения звеньев в модели соотношения выход – вход модели могут быть приведены в виде:

$$\begin{aligned} X_B(t) &= 0 \text{ при } t < t_B; \\ X_B(t) &= \dot{X}_B(t - t_B) \text{ при } t_B \leq t < t_B + \Delta T; \\ X_B(t) &= X_B \text{ при } t_B + \Delta T \leq t < t_B + \Delta t; \\ X_B(t) &= W_B(D)\Delta x(t) + h_B(t) \text{ при } t \geq t_B + \Delta t, \end{aligned}$$

где $\Delta T = \frac{X_B}{\dot{X}_B}$

В зависимости от варианта использования модели возможны различные

ее модификации, схемы которых изображены на рисунке 5.3.

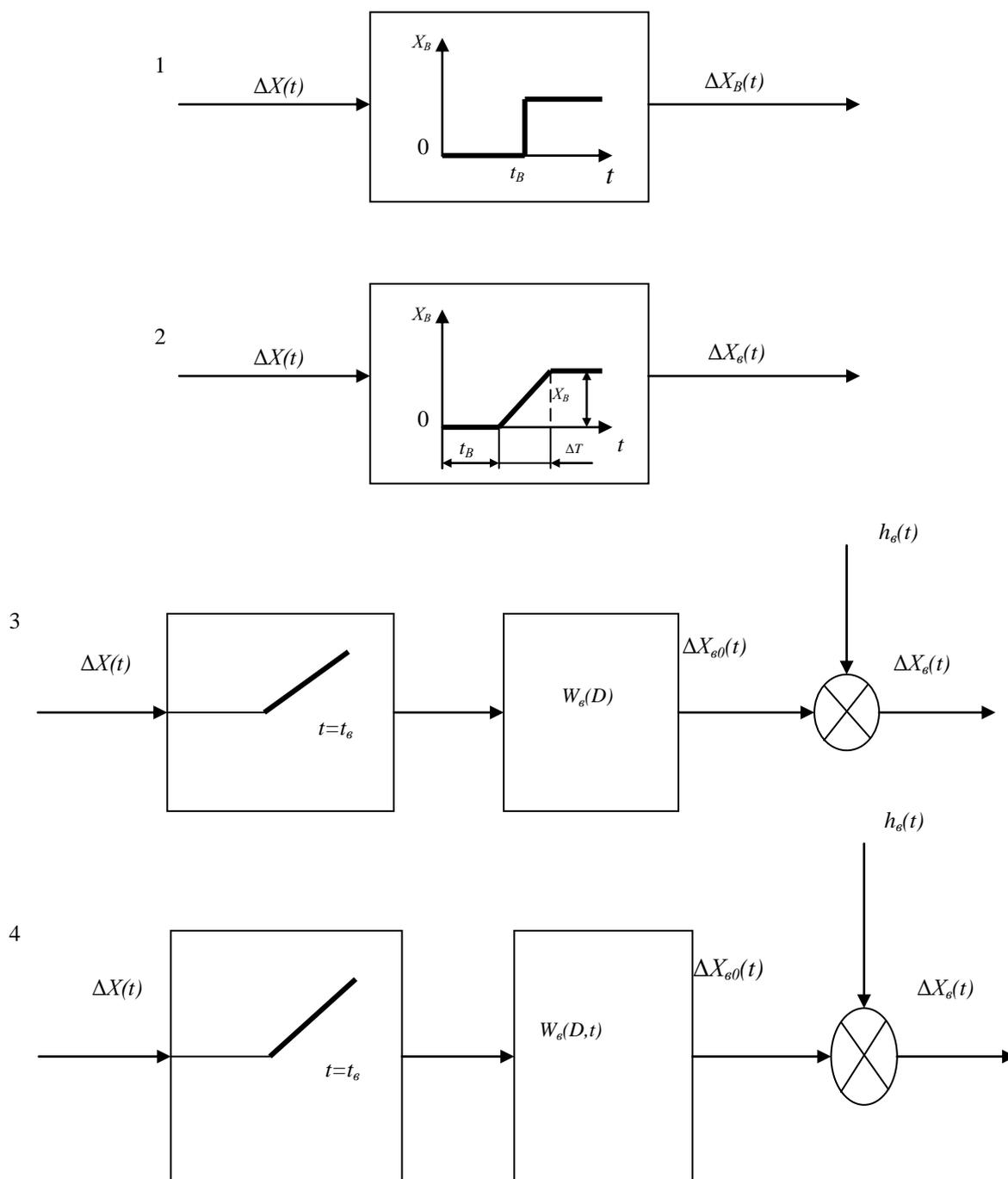


Рисунок 5.3 – Схемы моделей действий водителя в опасных ситуациях

Модель 1 учитывает только временное запаздывание водителя t_B . В момент $t = t_B$ водитель мгновенно устанавливает рулевое колесо в положение, соответствующее полной компенсации возмущающего момента. Такую модель можно использовать при упрощенных аналитических расчетах, где требуется получение сравнительной оценки.

Модель 2 учитывает временное запаздывание водителя и параметры его

первого вмешательства $X_{в}$, $\dot{X}_{в}$ (или ΔT). Такая модель может быть использована для оценки опасности таких неисправностей, при которых стабилизация измененного движения не вызывает у водителей трудностей.

В моделях 3 и 4 моторные действия водителя полностью описываются передаточной функцией и «шумами». При этом в модели 3 передаточная функция $W_B(D)$ стационарная, то есть её коэффициенты постоянны во времени, а в модели 4 передаточная функция $W_B(D, t)$ нестационарная, то есть коэффициенты зависят от времени.

В рассмотренных выше моделях водителя случайность его двигательных действий адекватно отображается случайностью времени запаздывания t_B первой двигательной реакции $X_{в}$, $\dot{X}_{в}$, коэффициентов передаточной функции водителя и его «шумов».

5.4. Время запаздывания и располагаемое время вмешательства водителя в управление при неисправностях транспортных средств

При анализе причин ДТП отмечается важнейшее значение для безопасности движения личных качеств водителя, то есть его физических и физиологических возможностей. В упрощенном виде работа психического аппарата водителя протекает следующим образом. Водитель через органы зрения воспринимает информацию в виде сигналов, преобразующихся в электрические импульсы и поступающие в головной мозг, от него к спинному мозгу, который посылает сигналы по нервным волокнам исполнительные импульсы мышцам рук, ног по действию соответствующими рычагами и управлению транспортным средством. Таким образом, передача сигналов в нервной системе длится определенное время, что обуславливает задержку (реакцию) в выполнении действий водителя по управлению автомобилем.

Под временем запаздывания вмешательства водителя в управление понимается интервал времени с момента возникновения неисправности до начала действий водителя по предотвращению последствий неисправности. В дальнейшем для краткости время t_B будем называть временем вмешательства. По своей природе оно случайно, и на него оказывают влияние многочисленные

факторы. В общем случае время вмешательства состоит из времени обнаружения неисправности или его последствий Δt_0 , времени опознания неисправности и принятия решения по действиям в особой ситуации Δt_n , времени запаздывания по началу этих действий после принятия решения (нервномышечное запаздывание) Δt_n , то есть $t_B = \Delta t_0 + \Delta t_n + \Delta t_n$. В зависимости от информативности, психофизиологических свойств водителя время вмешательства может изменяться в широких пределах от десятых долей секунды до десятков секунд.

Если неисправность приводит к быстрому изменению параметров движения, то факт возникновения неисправности водитель обнаруживает по акселерационным ощущениям и вмешивается в управление рефлекторно. Тогда в этих случаях $\Delta t_n = 0$, $t_B = \Delta t_0 + \Delta t_n$.

Обработка данных специальных исследований показывает, что время вмешательства водителя в управление, определяемое акселерационными ощущениями, составляет от 0,5 до 2,0 секунд и более.

Порог ощущения зависит от индивидуальных особенностей человека, возраста, тренировки и других. Нижний порог чувствительности изменяется в сторону увеличения при воздействии таких факторов, как усталость, вибрация, болезнь, алкоголь. Величина порогов оказывает существенное влияние на обеспечение надежности работы водителя. Водитель в основном получает зрительную информацию. Скорость поступления информации прямо пропорциональна количеству объектов, требующих внимания, количеству информации, которую несет каждый элемент, скорости движения автомобиля и обратно пропорциональна глубине информационного поля, то есть расстоянию, на котором водитель оценивает ситуацию

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i V}{L},$$

где C – скорость получения информации, бит/с;

λ_i – количество информации, которое дает каждый элемент информационного поля водителя, бит;

n – количество элементов информационного поля водителя;

V – скорость автомобиля, м/с;

L – глубина информационного поля, м.

Зависимость надежности восприятия информации показана на рисунке 5.4.

Под располагаемым временем водителя следует понимать отрезок времени с момента возникновения неисправности до начала вмешательства, обеспечивающего не превышение критическим определяющим параметрам своего значения. Работа водителя по своей сути состоит из ответных действий, и несвоевременное или неточное действие (реакция) может привести к опасности движения.

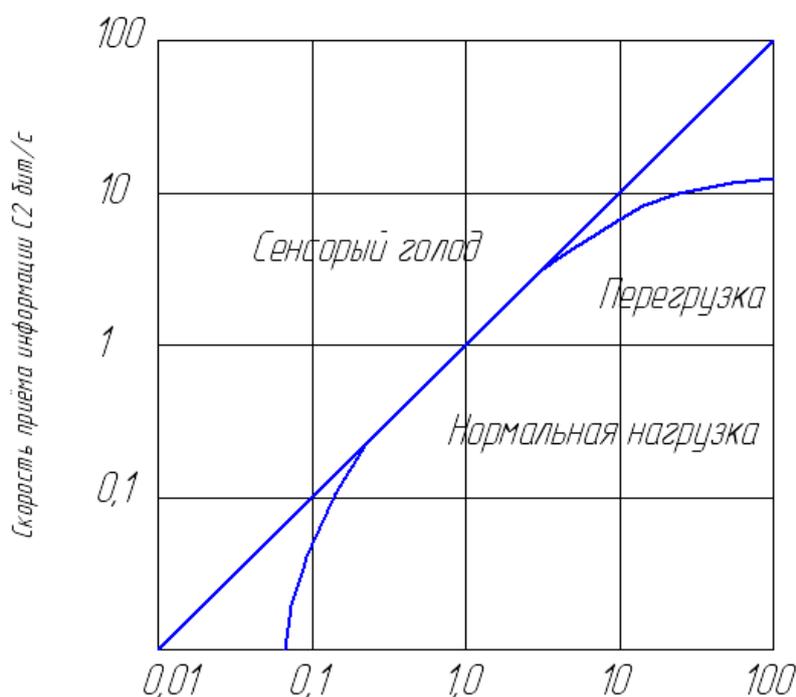


Рисунок 5.4 – Зависимость надежности восприятия информации от скорости ее поступления

Реакции бывают простыми и сложными. Простая реакция – это ответное действие на один заранее известный сигнал. Время простой реакции в среднем составляет 0,2.

Сложная реакция будет в случае необходимости выбора характера действия из ряда возможных. Время сложной реакции в несколько раз больше простой (0,4...2,6 с) и может существенно изменяться из-за различных факторов: личных особенностей водителя, его возраста, усталости, принятых лекарств, профессионального опыта и так далее. Значительно сокращается время реакции при готовно-

сти водителя к возможному появлению опасности. А предвидеть опасность водитель может всегда, если анализировать дорожную ситуацию, учитывать её типичный характер. Различают реакцию скрытую (латентную) и моторную (движения). Так время моторной реакции на перенос ноги с педали на педаль может быть 0,05 – 0,29 с, на перенос взора на угол 15° около 1 с.

5.5. Оценка степени опасности неисправностей транспортных средств

Количественной характеристикой степени опасности неисправностей АТС является условная вероятность устранения их последствий r_T . В зависимости от средств реализации поставленной задачи и характера неисправности r_T может быть определена одним из следующих методов: расчетным (аналитическим), методом статистических испытаний, экспертным оцениванием.

5.5.1. Расчетный (аналитический) метод

Этот метод применяется в тех опасных последствиях, когда неисправности проявляются только на начальном этапе движения сразу после его возникновения. К таким последствиям приводят неисправности, вызывающие быстрое изменение моментов действующих на транспортное средство. Параметры движения транспортного средства претерпевают при этом быстрое изменение и один или несколько из них могут превысить предельное значение, если водитель своевременным вмешательством не предотвратит их нежелательное изменение. Вероятность устранения последствий таких неисправностей определяется как вероятность своевременного вмешательства водителя в управление по формуле (5.1) $r_T = p(t_B < t_P)$. Если известны законы распределения времени вмешательства $f(t_B)$ и располагаемого времени водителя $f(t_P)$, то вероятность (5.1) рассчитывается по соотношению:

$$r_T = p(\Delta t > 0) = \int_0^{\infty} f(\Delta t) \cdot dt, \quad (5.3)$$

где $f(\Delta t)$ - закон распределения разности располагаемого времени и вре-

мени вмешательства ($\Delta t = t_p - t_B$), определяемый композицией законов $f(t_B)$ и $f(t_p)$.

При детерминированной манере вмешательства водителя, когда величина t_p неслучайная, вероятность (3.16) может быть рассчитана по соотношению:

$$r_T = \int_0^{t_p} f(t_B) dt_B = 0,5 + \Phi_0 \left[\frac{1}{\sqrt{D}} \ln \frac{t_p^x}{t_{e_0}^x} \right], \quad (5.4)$$

где $t_p^x = t_p - 0,82$; $\Phi_0(X)$ – функция Лапласа, определяемая по табличным данным.

Последовательность расчета r_T по выражению (5.4) следующая:

- определяем выражение для возмущающего момента, явившегося следствием неисправности;
- интегрированием уравнений движения транспортного средства при воздействии возмущающего момента определяем критический определяющий параметр;
- определяем математическое ожидание времени вмешательства m_{t_e} и параметр $t_{B_0}^*$;
- определяем располагаемое время водителя по данному критическому определяющему параметру;
- по известным значениям D , t_p^* , $t_{B_0}^*$ вычисляем аргумент X функции $\Phi_0(X)$ и по значению аргумента находим ее табличное значение.

Достоинством расчетного метода определения r_T является его относительная простота реализации, недостатком – необходимость существенного упрощения исследуемого явления с целью его формализации в виде пригодном для аналитического решения. В силу этого расчетный метод определения r_T является приближенным.

5.5.2. Метод статистических испытаний

Под статистическими испытаниями понимается многократное моделирование динамики движения автотранспортного средства при данной неисправности в условиях, изменяющихся случайным образом от опыта к опыту (случай-

ные начальные условия, случайные внешние воздействия и другие). В зависимости от средств реализации статистические испытания могут быть натурные, полунатурные или представлять чисто математическое моделирование.

Натурные испытания – это целенаправленный дорожный эксперимент. Достоинства этого способа испытаний очевидны, недостаток – эксперимент дорог и сложен, и главное – небезопасен, поэтому не все неисправности могут быть имитированы в движении.

Полунатурные испытания – это испытания на стендах (тренажерах). Достоинство этого способа испытаний – безопасность экспериментов, недостаток – трудность обеспечения условий деятельности водителя, соответствующих условий реального движения по чувству ощущений и чувству опасности неисправности.

При статистических испытаниях методом математического моделирования (статистическое моделирование) испытаниям подвергается математический аналог замкнутого контура «Водитель – система управления – транспортное средство». Динамические свойства звеньев этого контура описываются соответствующими математическими алгоритмами.

Оценка вероятности устранения последствий неисправности техники по данным статистических испытаний производится или по частоте появления события $X_j < X_{jnp}$, $j = \overline{1, m}$, или по законам распределения экспериментальных значений определяющих параметров движения $F(x_j)$.

В первом случае условная вероятность предотвращения водителем последствий неисправности i -того типа оценивается частотой $r_{T_i}^* = \frac{n_j}{N}$, где N – число проведенных испытаний, n – число испытаний, в которых регистрировались события $x_j < x_{jnp}$ $j = \overline{1, m}$. Соответственно $S_{T_i}^* = 1 - \frac{n}{N}$. Ввиду ограниченного числа опытов N оценки $r_{T_i}^*$ и $S_{T_i}^*$ имеют приближенный характер, и для искомым вероятностей r_{T_i} и S_{T_i} по этим оценкам могут быть определены лишь доверительные интервалы, в которых они могут находиться с заданной доверитель-

ной вероятностью.

Во втором случае условная вероятность r_{T_i} определяется как

$$r_{T_i}^* = \min \{F^*(X_{jnp})\}, \quad j = \overline{1, m}, \quad \text{где } F^*(X_{jnp}) \text{ – значение эмпирической функции}$$

распределения экстремальных значений j -го определяющего параметра при аргументе $x_j = x_{jnp}$;

5.5.3. Метод экспертного оценивания.

Сущность расчета $r_{T_i}^x$ экспертным оцениванием заключается в следующем.

Коллектив квалифицированных специалистов-экспертов оценивает опасность неисправности j -го типа для заданного этапа движения и заданных метеоусловий по определенной шкале оценок. Обработкой статистики этих оценок определяют условную вероятность устранения последствий неисправности. Шкалы оценок могут быть различные. В частности, если применяется пятибалльная система оценки опасности неисправности, то ранжировка производится следующим образом:

- балл 5 приписывается таким неисправностям, когда, по мнению эксперта, рейс наверняка закончится дорожно-транспортным происшествием;
- балл 4 – рейс чаще всего закончится дорожно-транспортным происшествием, чем без него;
- балл 3 – возможные два исхода рейса равновероятны;
- балл 2 – рейс чаще будет заканчиваться благополучным исходом, нежели дорожно-транспортным происшествием;
- балл 1 – по мнению эксперта, рейс всегда будет заканчиваться благополучно.

По результатам экспертизы K экспертов рассчитывается оценка

$$r_{T_i}^x = 1,25 - 0,25 z_{cp}, \quad \text{где } z_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K z_j; \quad z_j \text{ – оценка опасности, неисправности, вы-$$

ставленная j -м экспертом. Величина $r_{T_i}^x$, вычисленная таким способом, имеет приближенный характер.

Метод экспертного оценивания для расчета r_T можно применять в тех

случаях, когда другие методы неприемлемы из-за дефицита времени или отсутствия исходных данных, необходимых для их реализации.

5.6. Технические устройства повышения безопасности транспортных средств

Технические устройства повышения безопасности АТС должны выполнять следующие функции:

- контролировать работоспособность систем и сигнализировать водителю об их отказах;
- автоматически отключать отказавшие системы (элементы систем) и подключать исправные;
- определять критические значения параметров движения транспортных средств на различных этапах движения и сигнализировать водителю о подходе к ним и другие.

Технические устройства повышения безопасности АТС условно можно разделить на две группы: активные и пассивные. Активные воздействуют на контролируруемую систему или органы управления АТС и сами ликвидируют последствия неисправной системы. Пассивные технические средства повышения безопасности движения выдают только сигнализацию водителю о возникшей неисправности или приближении АТС к опасному режиму движения, а ликвидацию опасной ситуации осуществляет водитель.

Оценку влияния технических устройств на уровень безопасности АТС можно осуществить с помощью частных критериев, которые должны быть получены с учетом работы этих средств.

Для примера рассмотрим следующую условную задачу. На автомобиль установим разработанную автором систему контроля количества жидкости в тормозной системе, которая автоматически отключает систему зажигания двигателя при уменьшении уровня жидкости ниже оптимальной. Требуется оценить эффективность влияния встроенной системы контроля на снижение вероятности неблагоприятного исхода движения, связанного с неисправностями из-за понижения уровня жидкости, если известно:

- интенсивность отказов тормозной системы λ_{TC} , системы контроля λ_K ;
- условные вероятности предотвращения последствий неисправности тормозной системы с работающей системой контроля r_{TCK} , без контроля r_{TC} и неисправностей r_K .

Соответствующие условности вероятности непредотвращения последствий неисправностей составят: $s_{TCK} = 1 - r_{TCK}$; $s_{TC} = 1 - r_{TC}$ $s_K = 1 - r_K$ При отказавшей тормозной системе система контроля не работает.

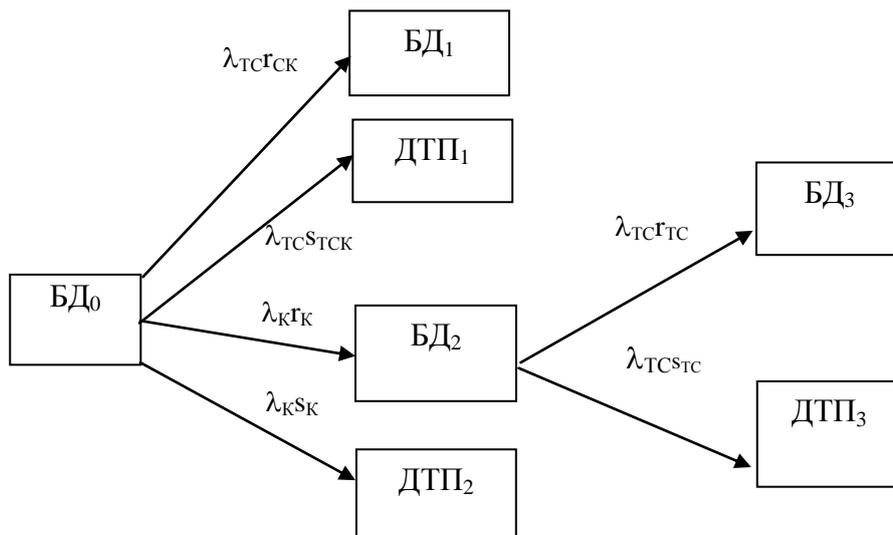


Рисунок 5.5 – Граф состояния системы

Поскольку явление неисправностей тормозной системы и системы контроля зависят от продолжительности движения (рейса), то для оценки влияния их на уровень безопасности движения воспользуемся теорией цепей Маркова. Граф возможных состояний системы изображен на рисунке 5.5.

Через BD_i ($i = \overline{0,3}$) обозначены благополучные исходы движения, а через DTP_j ($j = \overline{1,3}$) – неблагоприятные исходы движения, то есть дорожно-транспортные происшествия (ДТП). Состояния BD_1 и DTP_1 соответствуют исходам движения при неисправностях тормозной системы с работающей системой контроля, BD_2 и DTP_2 – при неисправности системы контроля, а BD_3 и DTP_3 – при неисправности тормозной системы с неработающей системой контроля. Обозначим P_i вероятности пребывания в состоянии BD_i , а через Q_j – в состояниях DTP_j .

Вероятности благополучного и неблагоприятных исходов движения соответственно будут равны:

$$P = \sum_{i=0}^3 P_i,$$

$$Q = \sum_{j=1}^3 Q_j \quad (5.5)$$

Для нахождения вероятностей пребывания системы в различных состояниях составим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= -\lambda_0 P_0; & \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_{TC} r_{TCK} P_0; \\ \frac{dQ_1}{dt} &= \lambda_{TC} s_{TCK} P_0; & \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_K r_K P_0 - \lambda_{TC} P_2; \\ \frac{dQ_2}{dt} &= \lambda_K s_K P_0 & \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{TC} r_{TC} P_2 \\ & & \frac{dQ_3}{dt} &= \lambda_K s_K P_2, \end{aligned}$$

где $\lambda_0 = \lambda_{TC} + \lambda_K$

Проинтегрировав эту систему при начальных условиях $P_0(0) = 1$, $P_i(0) = Q_j(0) = 0$ для $i, j = \overline{1,3}$ и подставив найденные выражения для Q_j в формулу (5/5), получим

$$Q = \frac{\lambda_{TC} s_{TCK} + \lambda_K s_K - r_K s_{TC} \lambda_{TCK}}{\lambda_0} (1 - e^{-\lambda_0 t}) + r_K s_{TC} (1 - e^{-\lambda_{TC} t}).$$

Уровень риска при неисправностях тормозной системы контроля в соответствии с формулой полной вероятности будет равен $Q_0 = (1 - e^{-\lambda_{TC} t}) s_{TC}$

Обычно $\lambda_0 t \ll 1$ и $\lambda_{TC} t \ll 1$, поэтому можно принять $(1 - e^{-\lambda_0 t}) = \lambda_0 t$ и $(1 - e^{-\lambda_{TC} t}) = \lambda_{TC} t$

Тогда эффективность влияния системы контроля на снижение вероятности неблагоприятного исхода можно оценить соотношением

$$K_Q = \frac{Q_0}{Q} \approx \frac{S_{TC}}{S_{TCK} + \frac{\lambda_K}{\lambda_{TC}} S_K} \quad (5.6)$$

Выражение (5.6) показывает, что на достаточно высоком уровне надежности системы контроля по сравнению с контролируемой системой ее влияние на снижение вероятности неблагоприятного исхода движения пропорционально отношению S_{TC}/S_{TCK} , то есть снижению степени опасности неисправности.

Если же система контроля недостаточно надежна ($\lambda_K > \lambda_{TC}$) и неисправности самой системы контроля также опасны, как и неисправности тормозной системы ($S_K > S_{TC}$), то система контроля окажется неэффективной и она повышает уровень риска. Это наглядно показано на рисунке 5.6, где изображена зависимость $K_Q = f\left(\frac{S}{S_{TC}}; \frac{\lambda_K}{\lambda_{TC}}; \frac{S_K}{S_{TC}}\right)$, при $\lambda_{TC} = 1 \times 10^{-3}$ 1/ч, $S_{TC} = 0,2$.

Такой выход характерен для всех технических устройств.

Для повышения безопасности дорожного движения они должны быть по крайней мере, на порядок выше контролируемых систем.

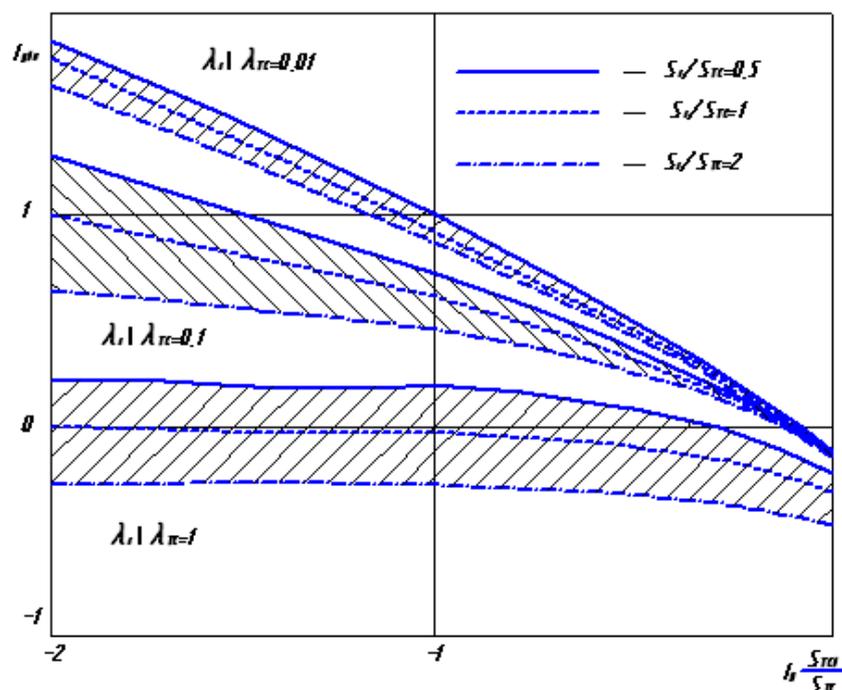


Рисунок 5.6 – Зависимость соотношения K_Q от интенсивности неисправностей и вероятностей непредотвращения их последствий

5.7. Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения и оценка их эффективности

Для повышения безопасности движения, обусловленной надежностью автотранспортных средств, существуют 2 пути – повышение надежности, то есть безотказности работы АТС в движении, и уменьшении степени опасности неисправностей то есть уменьшение вероятности непредотвращения водителем их последствий.

Обеспечение надежности работы АТС – основной путь повышения безопасности движения. Именно на это должны быть направлены основные усилия предприятий, создающих и эксплуатирующих АТС. Для поддержания высокого уровня надежности АТС предназначены в первую очередь и все мероприятия эксплуатирующих и обслуживающих служб автотранспортных предприятий.

Оценим эффективность мероприятий, направленных на уменьшение интенсивности неисправностей элементов систем АТС. Примем за критерий эффективности мероприятий отношение

$$K = \frac{Q_{T_1}}{Q_{T_2}}, \quad (5.7)$$

где $Q_{T_1} Q_{T_2}$ – уровни риска соответственно до и после проведения мероприятий.

Используя для Q – выражение

$$Q = \frac{1 - e^{-\lambda_{00} t}}{\lambda_{00}} \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} S_i, \quad (5.8)$$

где λ_i – интенсивность появления i -го неблагоприятного фактора и предполагая интенсивности неисправностей элементов до проведения мероприятий равными λ_i , а после проведения мероприятий $\lambda_i / K_{\lambda_i}$, где $K_{\lambda_i} > 1$ и учтя, что

$e^{-\lambda_0 t} \approx 1 - \lambda_0 t$, получим

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{0_i} S_{T_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{K_{\lambda_i}} S_{T_i}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{T_i}}{K_{\lambda_i}}}, \quad (5.9)$$

где n – число элементов в рассматриваемой системе;

$$\overline{Q_{T_i}} = \frac{\lambda_i S_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i}} \text{ – удельный вклад неисправностей } i\text{-го элемента в уро-}$$

вень риска, обусловленного возможными неисправностями рассматриваемой системы.

Результат (5.9) подтверждает тот очевидный факт, что мероприятия по повышению надежности проводятся в первую очередь для тех элементов, которые наиболее сильно снижают уровень безопасности движения. Оценка эффекта мероприятий по повышению надежности наиболее «аварийного» j - элемента в системе определяется выражением.

$$K_{Q_j} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i}}{\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i S_{T_i} + \frac{\lambda_j}{K_{\lambda_j}} S_{T_j}} \quad (5.10)$$

Подставив $\frac{\lambda_j}{K_j} = \lambda_j + \frac{1 - K_{\lambda_j}}{K_{\lambda_j}} \lambda_j$, преобразуем формулу (5/10) к виду

$$K_{Q_{\lambda_j}} = \frac{K_{\lambda_j}}{K_{\lambda_j} (1 - \overline{Q_{T_j}}) + \overline{Q_{T_j}}} \quad (5.11)$$

Изменения $K_{Q_{\lambda_j}}$ в зависимости от K_{λ_j} при различных $\overline{Q_{T_j}}$ показаны на рисунке 5.7, откуда следует, что увеличение K_{λ_j} приводит к повышению безопасности

движения тем большому, чем больше $\overline{Q_{T_j}}$.

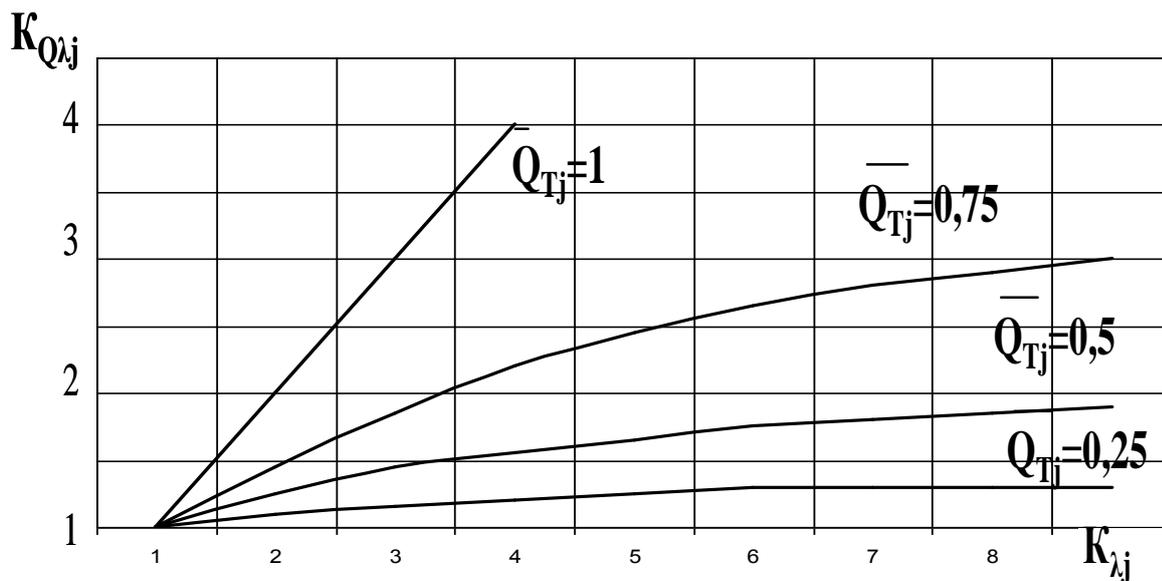


Рисунок 5.7 – Зависимость критерия эффективности мероприятий, от различных удельных вкладов неисправностей

Если под элементом можно подразумевать всю систему в целом $\overline{Q_{T_j}} = 1$, то формула (3.28) принимает вид

$$K_{Q_\lambda} = K_\lambda, \quad (5.12)$$

то есть уровень риска снижается во столько раз, во сколько раз уменьшается интенсивность неисправностей.

Эффект от мероприятий, направленных на уменьшение вероятности не предотвращения последствий неисправностей, будет определяться выражениями (5.10, 5.11, 5.12) В этом можно убедиться, приняв за критерий эффективности мероприятий отношением $K_{Q_s} = Q_{T_1} / Q_{T_2}$ вероятность не предотвращения последствий неисправностей после проведения мероприятий равными S_{T_i} / K_{S_i} , где $K_{S_i} > 1$.

Таким образом, при равных значениях K_{Q_λ} и K_{Q_s} с количественной точки зрения безразлично, в каком направлении проводить мероприятия, направленные на повышение безопасности движения: или по увеличению надежности

техники, или по уменьшению степени опасности ее неисправностей.

5.8. Требования к надежности транспортных средств из условия Обеспечения заданного уровня безопасности дорожного движения

Известно, что неисправности различных систем АТС с точки зрения безопасности движения не являются равнозначными. Последствия неисправностей одних элементов могут быть легко предотвращены водителем, предотвращение последствий других весьма затруднительно. Поэтому при создании или модернизации какой – либо системы ТС нет необходимости назначать одинаковую надежность всем элементам. Если учесть возможности устранения последствий неисправностей элементов, то заданный уровень БД может быть обеспечен при меньших затратах материальных средств на создание системы. Можно так «распределить» характеристики надежности между элементами в системе, что для обеспечения заданного уровня безопасности движения материальные затраты будут минимальными.

Для решения этой задачи воспользуемся полученным ранее выражением для критерия безопасности:

$$P_{БД}(t) = \ell^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i} t}$$

Из этого выражения видно, что заданный уровень безопасности движения $P_{БД}(t) = P_{БД_{зад}}$ при известном t будет при вполне определенном значении $\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i}$. Задача состоит в том, чтобы назначать такие характеристики надежности $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, чтобы заданный уровень безопасности движения $P_{БД_{зад}}$ был достигнут при наименьших материальных затратах на производство и эксплуатацию системы.

Зависимость стоимости производства и эксплуатации i -го элемента системы C_i может быть приведена в виде двух слагаемых: одного – не зависящего

от λ_i , и другого, зависящего от λ_i и обеспечивающего необходимую его надежность.

$$C_i = K_i + \frac{K_{\lambda_i}}{\lambda_i} \quad (5.13)$$

Для решения задачи воспользуемся методом динамического программирования. Из выражения для $P_{БД}(t)$ найдем $\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i} = -\frac{\ln P_{БДзл}}{t}$. Для удобства решения задачи обозначим

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i} = B; \quad \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i S_{T_i} = B_{n-1}; \dots; \lambda_i S_{T_i} = B_1 \quad (5.14)$$

и сформулируем ее в терминах динамического программирования.

Необходимо найти такие λ_i , чтобы составляющая материальных затрат, расходуемая на обеспечение надежности, была минимальной то есть, чтобы функция

$$\frac{K_{\lambda_1}}{\lambda_1} + \frac{K_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{K_{\lambda_n}}{\lambda_n} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{K_{\lambda_i}}{\lambda_i} \right) \min \quad (5.15)$$

в области, определенной соотношениями

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \lambda_i S_{T_i} = B_n \\ \lambda_i S_{T_i} > 0 \end{array} \right. \quad (5.16)$$

Так как минимум (5.15) зависит от величины B_n и n , то можно определить последовательность функций

$$f(B_n) = \frac{\min}{\left(\frac{K_{\lambda_i}}{\lambda_i} \right)} F \left(\frac{K_{\lambda_1}}{\lambda_1}; \frac{K_{\lambda_2}}{\lambda_2}; \dots; \frac{K_{\lambda_n}}{\lambda_n} \right), \quad (5.17)$$

определяющих последовательное минимальное выделение материальных средств на каждый из элементов системы K_{λ_i}/λ_i , обеспечивающих $P_{\text{БДЗд}}$. Для системы, состоящей из n элементов, последовательность (5.17) имеет вид:

$$f_n(B_n) = \frac{\min}{0 < \lambda_n S_{T_n} < B_n} \left(\frac{K_{\lambda_n}}{\lambda_n} + f_{n-1}(B_n - \lambda_n S_{T_n}) \right); \quad (5.18)$$

$$f_{n-1}(B_{n-1}) = \frac{\min}{0 < \lambda_{n-1} S_{T_{n-1}} < B_{n-1}} \left(\frac{K_{\lambda_{n-1}}}{\lambda_{n-1}} + f_{n-2}(B_{n-1} - \lambda_{n-1} S_{T_{n-1}}) \right); \quad (5.19)$$

$$f_3(B_3) = \frac{\min}{0 < \lambda_3 S_{T_3} < B_3} \left(\frac{K_{\lambda_3}}{\lambda_3} + f_2(B_3 - \lambda_3 S_{T_3}) \right); \quad (5.20)$$

$$f_2(B_2) = \frac{\min}{0 < \lambda_2 S_{T_2} < B_2} \left(\frac{K_{\lambda_2}}{\lambda_2} + f_1(B_2 - \lambda_2 S_{T_2}) \right); \quad (5.21)$$

$$f_1(B_1) = f_1(B_2 - \lambda_2 S_{T_2}) = \frac{K_{\lambda_1} S_{T_1}}{B_2 - \lambda_2 S_{T_2}}. \quad (5.22)$$

В соотношениях (5.18, 5.19, 5.20) неизвестными являются λ_i , которые необходимо выразить через B_n . Причем они должны быть такими, чтобы функция (5.15) приняла абсолютно минимальное значение. Для этого подставим выражение (5.22) в (5.21), возьмем производную по λ_2 от выражения в квадратных скобках, приравняем ее к нулю и определим $\lambda_2 = f(B_2)$, то есть

$$\lambda_2 = \frac{\sqrt{K_{\lambda_2}}}{\sqrt{S_{T_2}} (\sqrt{K_{\lambda_1} S_{T_1}} + \sqrt{K_{\lambda_2} S_{T_2}})} B_2 \quad (5.23)$$

При этом достаточное условие минимума – положительный знак второй производной по λ_2 – выполняется. После подстановки уравнения (5.23) в (5.21) имеем

$$f_2(B_2) = f_2(B_3 - \lambda_3 S_{T_3}) = \frac{(\sqrt{K_{\lambda_1} S_{T_1}} + \sqrt{K_{\lambda_2} S_{T_2}})^2}{B_3 - \lambda_3 S_{T_3}}. \quad (5.24)$$

Подставив формулу (5.24) в (5.20), получим

$$\lambda_3 = \frac{\sqrt{K_{\lambda_3}}}{\sqrt{S_{T_3}} (\sqrt{K_{\lambda_1} S_{T_1}} + \sqrt{K_{\lambda_2} S_{T_2}} + \sqrt{K_{\lambda_3} S_{T_3}})} B_3. \quad (5.25)$$

Последовательными подстановками полученных условных оптимальных значений определяется

$$f_{n-1}(B_{n-1}) = f_{n-1}(B_n - \lambda_n S_{T_n}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{K_{\lambda_i} S_{T_i}})^2}{B_n - \lambda_n S_{T_n}} \quad (5.26)$$

и с помощью выражения (5.18) определяется оптимальное значение интенсивности отказов n -го элемента системы в зависимости от $B_n - \ln P_{БД_{зад}} / t$, то есть

$$\lambda_{n_{opt}} = - \frac{\ln P_{БД_{зад}}}{t} \times \frac{\sqrt{K_{\lambda_n}}}{\sqrt{S_{T_n}} \sum_{i=1}^n \sqrt{K_{\lambda_i} S_{T_i}}}. \quad (5.27)$$

Поскольку при $\lambda_{n-1} = \lambda_{(n-1)_{opt}}$, $B_{n-1} = B_n - \lambda_{n_{opt}} S_{T_n}$, а при $\lambda_{n-2} = \lambda_{(n-2)_{opt}}$, $B_{n-2} = B_{n-1} - \lambda_{(n-1)_{opt}} S_{T_{n-1}}$ и так далее, то последовательными выражениями для $\lambda_i = f(B_i)$ получим оптимальные значения для остальных λ_i .

Таким образом, в процессе оптимизации λ_i методом динамического программирования многошаговый процесс распределения материальных средств «проходится» дважды. Первый раз – от конца (5.22) к началу (5.18), в результате чего находятся условные оптимальные значения λ_i . Второй раз – от начала (5.18) к концу (5.22), вследствие чего находятся оптимальные (уже не условные)

$$\lambda_{i_{opt}} = -\frac{\ln P_{БД_{зад}}}{t} \times \frac{\sqrt{K_{\lambda_i}}}{\sqrt{S_{T_i}} \sum_{i=1}^n \sqrt{K_{\lambda_i} S_{T_i}}} . \quad (5.28)$$

Минимальное количество материальных средств, необходимых для обеспечения заданного уровня безопасности движения при условии оптимального распределения характеристик надежности, может быть определено из (3.30) с учетом (5.28).

$$\left(\sum_{i=1}^n C_i\right) \min = -\frac{t}{\ln P_{БД_{зад}}} \left(\sum_{i=1}^n \sqrt{K_{\lambda_i} S_{T_i}}\right)^2 + \sum_{i=1}^n K_i . \quad (5.29)$$

Оптимальное с точки зрения обеспечения безопасности движения, распределение характеристик надежности в системах транспортного средства возможно при условии наличия данных о величине S_{T_i} , методы определения которой приведены выше.

Заданный уровень, $P_{БД_{зад}}$ может быть достигнут, и путем резервирования элементов систем.

Оценим применение устройства повышения безопасности движения на примере установки резервного привода тормозной системы транспортного средства (рисунок 5.8). Оценку выполним с использованием цепей Маркова.

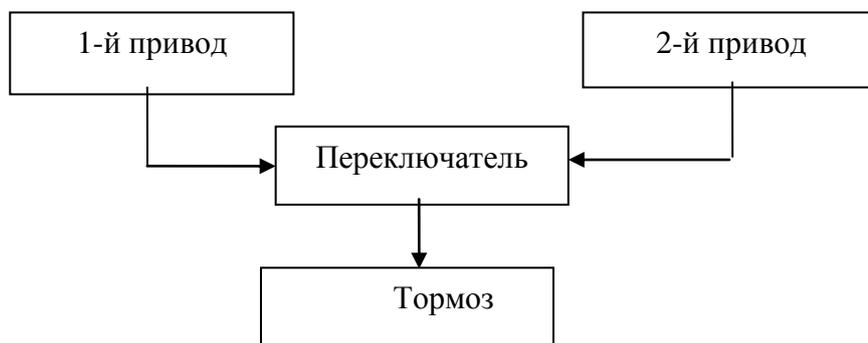


Рисунок 5.8 – Функциональная схема тормозной системы транспортного средства

Тормоз постоянно работает от первого привода, но при его неисправности

переключатель автоматически подключает в тормозную систему 2-й привод.

Интенсивности неисправностей привода обозначим $\lambda_{пр}$, переключателя $\lambda_{п}$:

Возможные состояния этой системы (рисунок 5.9):

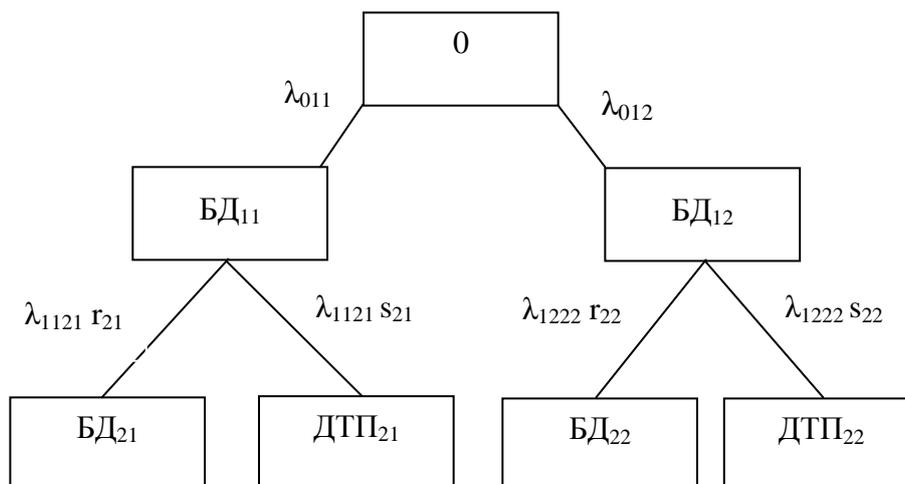


Рисунок 5.9 – Схема возможных состояний системы

0 – все элементы системы исправны;

БД₁₁ – неисправность 1-го привода, переключатель подключил второй привод, вмешательства водителя не потребовалось ($r_{11} = 1,0$);

БД₁₂ – неисправность переключателя, тормозная система продолжает работать от первого привода, но при этой неисправности переход на второй привод невозможен. Вмешательство водителя также не требуется ($r_{12} = 1,0$);

БД₂₁ – неисправность второго привода, последствия его неисправности предотвращены водителем;

ДТП₂₁ – то же при условии, что последствия неисправности второго привода не предотвращены;

БД₂₂ – неисправность первого привода после неисправности переключателя, последствия неисправности предотвращены;

ДТП₂₂ – то же при условии, что последствия неисправности не предотвращены.

Дифференциальные уравнения относительно вероятностей благополучных исходов имеют вид:

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda_{00}P_0; \quad (5.30)$$

$$\frac{dP_{11}}{dt} = \lambda_{011}P_0 - \lambda_{1111}P_{11}; \quad (5.31)$$

$$\frac{dP_{21}}{dt} = \lambda_{1121}r_{21}P_{11}; \quad (5.32)$$

$$\frac{dP_{12}}{dt} = \lambda_{012}P_0 - \lambda_{1212}P_{12}; \quad (5.33)$$

$$\frac{dP_{22}}{dt} = \lambda_{1222}r_{22}P_{12}; \quad (5.34)$$

В уравнениях (5.30), (5.31), и (5.33) величины λ_{00} , λ_{1111} , λ_{1212} , суммарные интенсивности появления неисправностей, выводящих систему соответственно из нулевого состояния, из состояний БД₁₁ и БД₁₂:

$$\lambda_{00} = \lambda_{np} + \lambda_n; \quad \lambda_{1111} = \lambda_{1212} = \lambda_{np}, \dots \quad (5.35)$$

r_{21} , r_{22} – вероятности предотвращения водителем последствий неисправностей приводов тормоза. По физическому смыслу $r_{21} = r_{22}$ и $s_{21} = s_{22} = s$.

Решение уравнений запишем с учетом начальных условий $t = 0$, $P_0 = 1.0$, $P_{li} = Q_{li} = 0$ и соотношений (5.35):

$$P_0(t) = e^{-(\lambda_{np} + \lambda_n)t}; \quad (5.36)$$

$$P_{11}(t) = \frac{\lambda_{np}}{\lambda_n} \cdot \left[e^{-\lambda_{np}t} - e^{-(\lambda_{np}+\lambda_n)t} \right]; \quad (5.37)$$

$$P_{21}(t) = \frac{\lambda_{np}}{\lambda_n} \cdot r \cdot \left(1 - e^{-\lambda_{np}t} \right) - \frac{\lambda_{np}^2 r}{\lambda_n \cdot (\lambda_{np} + \lambda_n)} \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{np}+\lambda_n)t} \right]; \quad (5.38)$$

$$P_{12}(t) = \left[e^{-\lambda_{np}t} - e^{-(\lambda_{np}+\lambda_n)t} \right]; \quad (5.39)$$

$$P_{22}(t) = r \cdot \left(1 - e^{-\lambda_{np}t} \right) - \frac{\lambda_{np}}{\lambda_n + \lambda_{np}} \cdot r \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{np}+\lambda_n)t} \right]. \quad (5.40)$$

5.9. Обеспечение уровня безопасности, определяемого надежностью транспортных средств

Как известно, уровень безопасности движения закладывается при создании новых автотранспортных средств, поэтому проблема обеспечения безопасности движения автотранспортных средств на этапах разработки и производства опытного образца представляет особую актуальность. Развитие методов оценки уровня безопасности движения, разработки и утверждения норм безопасности движения позволяет не только качественно ("лучше-хуже", "удобно-неудобно"), но и количественно производить оценку соответствия транспортных средств предъявляемым требованиям ещё на ранних стадиях его существования. С этой целью на этапе проектирования ТС (эскизный проект, технический проект и изготовление макета) отрабатывается и согласовывается с заказчиком таблица соответствия АТС и его систем требованиям безопасности движения.

В таблице соответствия находят отражение общие и специальные (частные) требования к уровню безопасности движения. Если общие требования содержат количественные требования к уровню безопасности движения, то специальные требования включают в себя требования к характеристикам надежно-

сти, отказобезопасности, контролепригодности, системам сигнализации и контроля и эргономические требования. Поскольку безопасность движения зависит от технических характеристик и характеристик функционирования систем ТС, то таблица соответствия содержит также требования к характеристикам устойчивости и управляемости и их изменению при возможных неисправностях в системах ТС. Анализ этой таблицы дает возможность в случае обнаружения несоответствия своевременно предпринимать меры по совершенствованию техники, улучшению её эксплуатационно-технических характеристик, осуществляя, таким образом, управление уровнем безопасности движения.

Важнейшее место в этой работе принадлежит обеспечению заданного уровня безопасности движения, определяемого надежностью систем создаваемого АТС.

В техническом плане эта задача решается по таким основным направлениям:

- разработка технических решений, направленных на предупреждение особых ситуаций и уменьшение степени их опасности, на обеспечение соответствия АТС и его систем требованиям по эргономике;
- разработка и совершенствование базы натуральных и полунатурных исследований и испытаний (моделирующих комплексов, стендов и так далее) и проведение исследований на этой базе с целью оценки степени опасности опасных ситуаций, вызываемых неисправностями в функциональных системах ТС;
- разработка технологической документации на узлы, агрегаты, неисправности которых вызывают опасные ситуации, угрожающие безопасности движения.

В методическом плане задача обеспечения заданного уровня безопасности движения сводится к оценке ожидаемого количественного уровня безопасности движения и сравнению его с заданным. Расчет уровня безопасности движения производится аналитическими методами. Эта задача является комплексной, и её поэтапное решение предполагает решение таких частных задач:

- разделение (декомпозиция) АТС на составляющие его части;
- выявление в каждой функциональной системе перечня функциональных неисправностей, потенциально угрожающих безопасности движения;

- обоснование расчетной модели безопасности движения, реализующей расчетные методы оценки безопасности движения;
- распределение заданного уровня безопасности движения между функциональными системами создаваемого ТС;
- расчет уровня безопасности дорожного движения по каждой функциональной системе ТС;
- объединение результатов расчетов по каждой функциональной системе с целью оценивания уровня безопасности движения в целом по ТС, сравнение этого уровня безопасности движения с заданным;
- решение смежных задач при обеспечении соответствия фактического уровня безопасности движения заданному.

Рассмотрим кратко сущность перечисленных задач.

Автотранспортное средство представляет собой сложную техническую систему, состоящую из ряда систем, взаимодействующих между собой при их функционировании. Поэтому задача оценивания уровня безопасности движения сразу в целом для ТС имеет большую размерность, что существенно затрудняет её решение. Декомпозиция ТС на составляющие его части преследует цель снизить размерность решаемой задачи, сделать обозримыми и сам процесс получения результатов, их анализ и отыскание конкретных путей для достижения заданного уровня безопасности движения. Условное разделение ТС на составные части должно выполняться на основе объективно существующей иерархической связи между заданными функциями для отдельных его систем. Согласно этому принципу все части ТС могут быть ранжированы и отнесены соответственно: к элементу конструкции ТС, к подсистеме, к системе, к функциональной группе систем ТС.

Декомпозиция ТС должна быть выполнена таким образом, чтобы выделенные функциональные системы сохраняли связи со смежными системами и энергоисточниками. При этом каждый выделенный элемент должен входить только в одну вполне определенную подсистему.

После декомпозиции ТС на составляющие его части в каждой из функциональных систем выявляется перечень функциональных отказов, потенциально угрожающих безопасности движения. Под функциональной неисправностью

понимается вид неработоспособного состояния системы, характеризующийся определенным нарушением функций системы. Функциональная неисправность может явиться как следствием неисправностей отдельных элементов, входящих в систему, так и их комбинаций. Для каждой функциональной неисправности определяют возможные причины ее появления, то есть определяют виды неисправностей элементов, а также их сочетания, приводящие к данному виду функциональной неисправности. При расчете уровня безопасности движения не рассматриваются такие сочетания неисправностей, которые представляют практически невероятные события.

Расчету уровня безопасности движения (уровня риска) по каждой функциональной системе должно предшествовать распределение заданного уровня безопасности движения между функциональными системами. Решение этой задачи позволяет конкретизировать пути обеспечения заданного уровня безопасности движения с учетом "вклада" каждой функциональной системы в аварийность, то есть определить требования к надежности систем и степени опасности их неисправностей.

Пусть к создаваемому ТС предъявлено требование обеспечить $Q = Q_3$, где Q_3 – заданный уровень риска. Распределение Q_3 между системами может быть произведено от достигнутой аварийности по системам того же назначения на ТС – аналоге. Для этого по статистическим сведениям аварийности на ТС – аналоге определяют относительную частоту ДТП по каждой из его систем:

$$\bar{Q}_{ja} = \frac{Q_j}{Q_a} = \frac{n_{ДТП_{ja}}}{n_{ДТП_a}},$$

где $n_{ДТП_{ja}}$, $n_{ДТП_a}$ – числа ДТП j -ой системе аналога и по ТС -аналогу в целом за период, сравнимый с планируемым периодом эксплуатации нового ТС. При известных значениях \bar{Q}_{ja} ($j = \overline{1, n}$)

Заданный уровень риска Q_3 для нового ТС распределяется между его системами по соотношению:

$$Q_{jз} = Q_з \bar{Q}_{ja}$$

При таком распределении $Q_з$ между системами не учитывается стоимость их производства и эксплуатации в зависимости от вклада в обеспечение безопасности движения, то есть задача решается не оптимальным образом.

Задачу оптимального распределения $Q_з$ между системами ТС с учетом их стоимости можно сформулировать следующим образом: распределить $Q_з$ между системами таким образом, чтобы затраты на их производство и эксплуатацию были минимальными, то есть:

$$C = \sum_{j=1}^n C_j = \min, \quad (5.41)$$

где C_j – функция стоимости j -ой системы, зависящая от Q_j , например:

$$C_j = a_j + \frac{b_j}{Q_j}$$

a_j, b_j – известные коэффициенты.

Оптимальные значения Q_j , реализующие условие (5.41) при $\sum_{o=1}^m Q_j \leq Q_з$ могут быть определены методом неопределенных множителей Лагранжа. Для этого составляется функция Лагранжа

$$L = \sum_{j=1}^n C_j + (\sum_{j=1}^n Q_j - Q_з)x, \quad (5.42)$$

где x – неопределенный множитель Лагранжа.

Чтобы найти оптимальные решения, следует продифференцировать функцию Лагранжа по переменным Q_j и x и приравнять производные нулю:

$$\frac{dL}{dQ_j} = 0; \quad \frac{dL}{dx} = 0; \quad j = \overline{1, n} \quad (5.43)$$

Из решения системы уравнений (5.43) определяются оптимальные значения Q_j , удовлетворяющие выше поставленным условиям.

Рассмотрим элементарный пример. Пусть $n=2$. Требуется распределить Q_3 между системами. Функция Лагранжа имеет вид:

$$L = a_1 + \frac{b_1}{Q_1} + a_2 + \frac{b_2}{Q_2} + x(Q_1 + Q_2 - Q_3)$$

Составляем дифференциальные уравнения для определения неизвестных значений x , Q_1 и Q_2 :

$$\frac{dL}{dQ_1} = -\frac{b_1}{Q_1^2} + x = 0; \quad \frac{dL}{dQ_2} = -\frac{b_2}{Q_2^2} + x = 0; \quad \frac{dL}{dx} = Q_1 + Q_2 - Q_3 = 0$$

Решая эти уравнения, получим:

$$Q_{1_{onm}} = Q_3 \sqrt{\frac{b_1}{b_1 + b_2 + 2\sqrt{b_1 b_2}}}; \quad Q_{2_{onm}} = \sqrt{\frac{b_2}{b_1 + b_2 + 2\sqrt{b_1 b_2}}}$$

При $b_i = b_2$ имеем очевидный результат:

$$Q_{1_{onm}} = Q_{2_{onm}} = \frac{1}{2} Q_3$$

Одни и те же функциональные неисправности на различных этапах движения, в различных условиях представляют неодинаковую опасность. В движении существует практически бессчетное количество дорожных ситуаций, характеризующихся скоростью, углом наклона дороги и креном, поэтому расчет уровня безопасности движения по каждой функциональной системе и для АТС в целом проводится для определенного типового дорожного движения в соответствии с заданными условиями эксплуатации. Расчет проводится по моделям безопасности движения методами, рассмотренными ранее. Исходные данные для расчета по λ – характеристикам, по вероятностям неисправностей q и степени их опасности s выявляются по статистическим данным эксплуатации аналогичных образцов автотранспортных средств, по данным специальных исследований на моделирующих стендах, тренажерах и так далее. Например, степень опасности неисправностей i -го типа оценивается:

$$S_i^* = \frac{n_{ДТП_i}}{n_{ДТП_{io}} + n_j},$$

где $n_{ДТП_i}$ – числа ДТП из-за неисправностей i -го типа, по статистическим данным эксплуатации аналогичных образцов, n_j – числа неисправностей, не приводящих к ДТП.

Так как исходная статистика всегда ограничена, то значения λ , q , s по функциональным неисправностям, используемые при расчете, имеют приближенный характер.

Чтобы учесть некоторую неопределенность исходных данных при расчете уровня риска Q_j по каждой функциональной системе возможно использование одного из двух приемов.

Первый – при расчете Q_j использующая значения λ , q , s , соответствующие их верхним доверительным границам, вычисленным при определенной доверительной вероятности β . Расчет верхних доверительных границ по перечисленным характеристикам производится известными методами теории вероятностей.

Второй прием – расчет уровня риска Q_j может производиться методом статистического моделирования. Суть этого приема состоит в том, что по распределениям величин λ^* , q^* , s^* моделируется серия комбинаций их реализаций и для каждой из этих комбинаций вычисляется значение уровня риска Q_{ji} . По серии значений Q_{ji} выявляется его дифференциальный закон распределения $f(Q_j)$, по которому при доверительной вероятности β определяется расчетное значение уровня Q_j из условия:

$$\int_0^{Q_j} f(Q_j) dQ_j = \beta$$

После расчета Q_j по всем функциональным системам определяется уровень риска в целом для АТС $Q = \sum_{j=1}^n Q_j$ и сравнивается с заданным. Если требование $Q \leq Q_s$ не выполняется, то в проекте реализуются дополнительные техни-

ческие решения, направленные на выполнение заданной нормы.

Необходимо отметить два обстоятельства, связанные с проблемой обеспечения безопасности движения на этапе создания ТС.

Первое обстоятельство – современный уровень развития теории БДД не позволяет количественно оценивать влияние всех эксплуатационно-технических характеристик на изменение уровня БДД. Особые трудности представляет количественная оценка влияния пассивных отказов техники, эргономического несоответствия свойств возможностям человека, в первую очередь водителя. Из-за недостаточно эффективного контроля за эргономическим соответствием техники при её разработке происходит значительное количество дорожно-транспортных происшествий, которые часто необоснованно относят к вине водителя. Повышение эффективности контроля за уровнем БДД и приведение в соответствие свойств техники возможностям человека требует разработки новых методов количественной оценки БДД и совершенствования методов экспертной оценки.

Второе обстоятельство связано с выделением средств на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), проводимых в целях создания новой ТС.

Мировой опыт машиностроения показывает, что увеличение ассигнований НИОКР ($C_{НИОКР}$) в некоторых пределах позволяет не только повысить безопасность движения, но существенно уменьшить расходы на эксплуатацию ($C_{ЭК}$) и несмотря на рост расходов серийного производства ($C_{СП}$) сократить расходы за жизненный цикл АТС ($C_{ЖЦ}$). На рисунке 5.10 показан примерный характер изменения расходов $C_{ЭК}$, $C_{СП}$, $C_{ЖЦ}$ в функции финансирования на НИОКР.

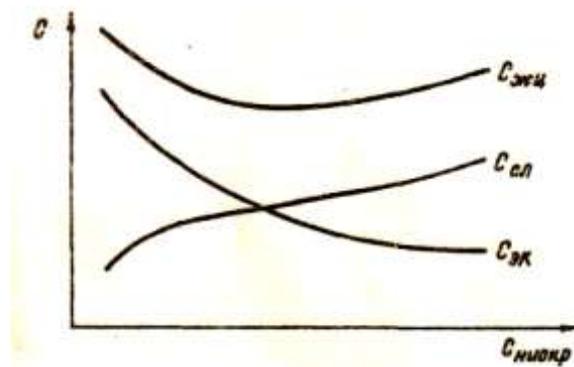


Рисунок 5.10 – Изменение расходов в функции ассигнований на НИОКР

Глава 6. Влияние ошибок водителя и обслуживающего персонала на безопасность дорожного движения

6.1. Статистические данные и роль обслуживающего персонала в обеспечении безопасности дорожного движения

Уровень безопасности дорожного движения закладывается при создании транспортных средств. Для поддержания этого уровня обслуживающий персонал (ОП) в процессе массовой эксплуатации и применения ТС должен обеспечить выполнение требований по обслуживанию, ремонту, хранению, условиям ее применения. Однако этим не исчерпывается роль ОП по обеспечению БДД. В процессе массовой эксплуатации и применения ТС обслуживающий персонал выявляет имеющиеся недостатки конструкции ТС, инструкций и руководств по эксплуатации ТС, формулирует предложения по их совершенствованию. Благодаря этим действиям ОП уровень БДД транспортных средств в процессе массовой эксплуатации существенно возрастает.

Совершенствование ТС и методов их обслуживания в процессе массовой эксплуатации, с одной стороны, и стремление ОП по мере освоения техники приводят к изменению распределения причин ДТП между ОП, водителем и ТС. Если сумму ДТП по вине ОП, водителя, неудовлетворительных дорожных условий, неисправностей техники принять за 100%, то ДТП происходят из-за неисправностей техники от 3 до 5%), по вине водителя от 70 до 80 %, дорожных условий от 8 до 10%, то на долю ОП приходится до 1% всех происшествий.

В обеспечении дорожного движения, кроме водителей, принимает участие работники службы организации движения, технического отдела, службы БДД, и другие.

Исключительно велика роль ИТР в обеспечении безопасности дорожного движения. Как известно, основными задачами ОП АТП является содержание ТС в постоянной исправности, своевременном ТО и ремонте.

Из анализа статистических данных по ДТП было бы неправильно делать вывод, что такой большой вклад водителей в аварийность объясняется только их недисциплинированностью, нарушением Правил дорожного движения или недостаточно высоким уровнем подготовки, хотя это каким-то образом и отражено в этих статистических данных. У разных групп ОП различна и роль в обеспечении БДД. У водителя особая роль: выполняя рейсы, он предотвращает последствия неисправностей техники, воздействия неблагоприятных внешних условий, исправляет не только свои ошибки, но и ошибки других операторов. Перегрузка водителя информацией, высокая его психофизиологическая нагрузка, недостаточное соответствие свойств техники возможностям водителя, выполнение им в ряде случаев функций, несоответствующих его возможностям, существенно снижают надежность его работы и в какой-то мере объясняет сравнительно большое количество ДТП по вине водителей. Есть функции, которые водитель может безошибочно выполнять длительное время с вероятностью, близкой к единице: допускаемые же им ошибки при выполнении этих функций он уверенно предотвращает. Очевидно, что в рассматриваемом случае уровень БДД, определяемый надежностью работы водителя, будет высоким. Надежность водителя-оператора существенно снижается, если ему поручается выполнение функций, не соответствующих его возможностям, или если недостатки динамических свойств ТС и его системы управления требуют от водителя необычных или противоестественных (против отработанных условных рефлексов) действий для компенсации этих недостатков. В рассматриваемых случаях водитель может с большой вероятностью допустить ошибку и имеет меньшую возможность по предотвращению ее последствий. В ряде случаев при расследовании ДТП считается, что, если неисправностей техники не обнаруже-

но, не зафиксировано воздействие внешних неблагоприятных факторов и ошибок других операторов, то причиной ДТП считается ошибка водителя. При такой системе расследования некоторая часть ДТП, вызванная несоответствием свойств ТС возможностям водителя (например, плохие характеристики тормозных устройств, устойчивости и управляемости и т. д.) необоснованно относятся к ошибкам водителей.

6.2. Методы оценки влияния обслуживающего персонала на безопасность дорожного движения

В процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта транспортных средств обслуживающий персонал (ОП) может допустить ошибку, приводящую либо к пропуску имеющейся неисправности, либо к внесению новой, либо к созданию условий для проявления неисправности ТС.

Все факторы, которые приводят к ошибочным действиям ОП, можно разделить условно на две группы: «человеческие» и «личностные». «Человеческие» факторы обусловлены особенностями взаимодействия человека с ТС. Они зависят как от свойств техники (надежность, эксплуатационная технологичность, ремонтнопригодность, контролепригодность, сохраняемость и другие), которые можно объединить понятием «эксплуатационное совершенство», так и от условий, при которых это взаимодействие проявляется (степень защиты от шумов, вибраций и метеорологических воздействий, уровень освещенности, степень механизации выполнения физических работ, равномерность загрузки и другие) «Личностные» факторы связаны с такими недостатками конкретного специалиста, как низкая специальная подготовка и натренированность, недисциплинированность и халатность при выполнении работ, психофизические особенности, отклонения в состоянии здоровья и другие. Возникающие ошибки ОП, как правило, являются следствием сочетания нескольких факторов различных групп.

Если обозначить через $q_{ОШ_i}$, $p_{ОШ_i}$ соответственно вероятности недопущения и совершения ошибки при подготовке i -й системы, а через s_{K_i} , r_{K_i} — условные вероятности пропуска обнаружения и устранения при контроле допущенной ошибки, то вероятность выхода ТС в рейс с i -й исправной системой будет равна

$$P_i = p_{ОШ_i} + q_{ОШ_i} r_{K_i} \quad (6.1)$$

Вероятность выпуска в полет самолета с i -й неисправной системой из-за возникших ошибок ОП, т. е. когда неисправность не обнаружена или внесена при обслуживании

$$q_i = 1 - p_i = q_{ОШ_o} s_{K_i} \quad (6.2)$$

Для получения достоверных оценок вероятностей p_i , q_i необходима тщательная организация сбора и учета данных эксплуатации, кропотливая статистическая обработка этих данных по каждому типу ТС. В конкретных условиях эксплуатации. В случае невозможности получить объективные оценки таким путем прибегают к методу экспертного опроса.

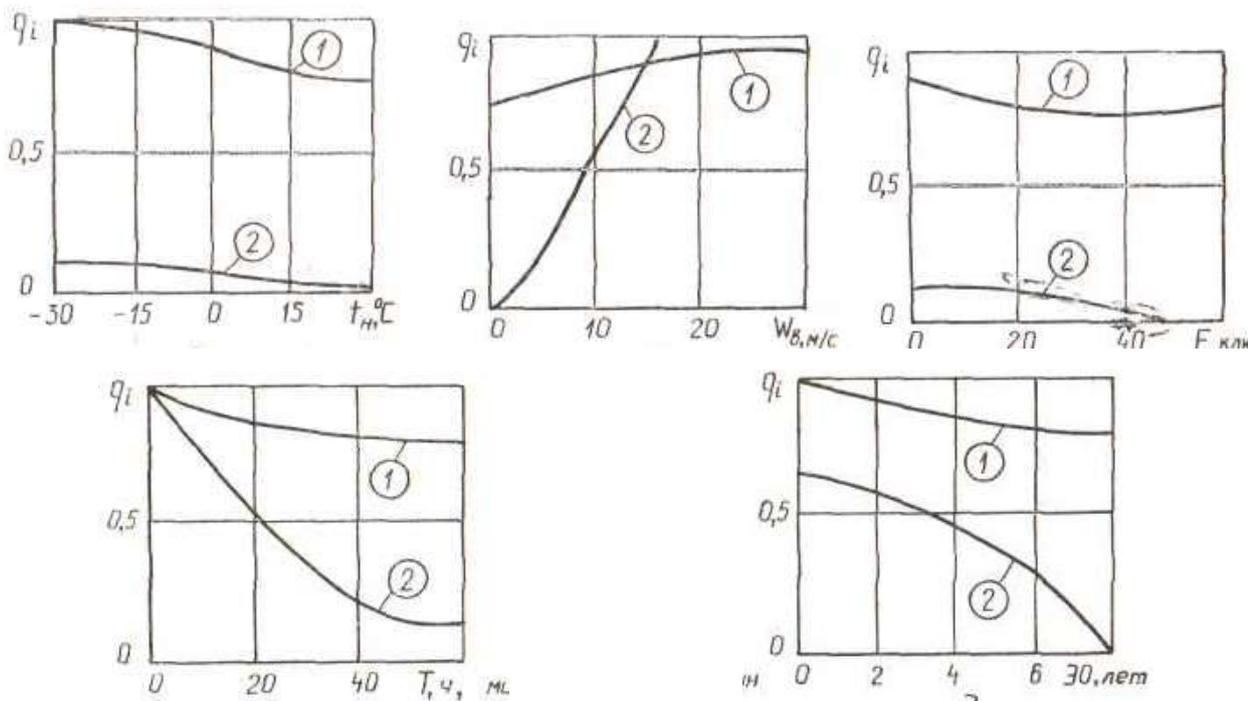


Рисунок 6.1 - Характер изменения вероятности q

На рисунке 6.1 изображен характер изменения вероятности q выпуска в рейс ТС с i -й неисправной системой из-за ошибок ОП для двух систем с различным уровнем эксплуатационного совершенства (система 1 имеет плохие свойства, а система 2 — хорошие) в зависимости от внешних условий (температуры окружающего воздуха $t^{\circ}_н$, скорости ветра $W_в$, освещенности систем естественным светом E), времени $T_{оп}$, отводимого на обслуживание и контроль технического состояния систем, и опыта эксплуатации данной техники (ЭО). Эти зависимости наглядно показывают, что при обслуживании системы 1 ОП с большей вероятностью может совершить ошибку, чем при обслуживании системы 2. Вероятность q_i снижается при улучшении погодных условий, увеличении времени $T_{оп}$ и при увеличении опыта эксплуатации.

ТС данного типа. Однако благоприятный характер изменения рассматриваемых факторов дает значительно меньший эффект для системы 1 с плохими свойствами эксплуатационного совершенства, чем для системы 2. Поскольку ошибки ОП снижают надежность работы ТС, то и влияние их на уровень безопасности дорожного движения следует производить теми же методами, что и при отказах техники по конструктивно-производительным недостаткам (КПН). Чтобы выделить роль ошибок ОП на снижение уровня БДД, можно принять допущение о безотказности техники по КПН. В тех случаях, когда вероятность неисправности ТС из-за допущенной ошибки ОП зависит от продолжительности рейса, оценку БДД производят с использованием цепи Маркова. Если же вероятность проявления ошибок ОП не зависит от продолжительности рейса, а связана с применением систем на определенных этапах движения, то влияние этих ошибок на уровень безопасности дорожного движения следует производить с использованием формулы полной вероятности, при этом вероятность безотказной работы i -й системы p_i и вероятность ее отказа q_i вычисляется по выражениям (6.1) и (6.2).

Для последнего случая рассмотрим пример оценки влияния ошибок ОП на уровень БДД для трех независимых систем ($n = 3$) с целью получения в дальнейшем рекуррентных соотношений для любого числа систем. На рисунке 6.2 изображено дерево исходов события, где r_i и s_i – условные вероятности предотвращения и непредотвращения водителем последствий неисправности i -й системы соответственно

Состояние $\{БД_1\}$ соответствует благополучному исходу рейса если допущено ошибок в подготовке систем; $\{БД_2\}$, $\{БД_3\}$, $\{БД_5\}$ – когда сумел справиться с проявлением ошибки на одной из трех систем; $\{БД_4\}$, $\{БД_6\}$, $\{БД_7\}$ – на двух из трех систем и $\{БД_8\}$ – с проявлением ошибок ОП на всех трех системах.

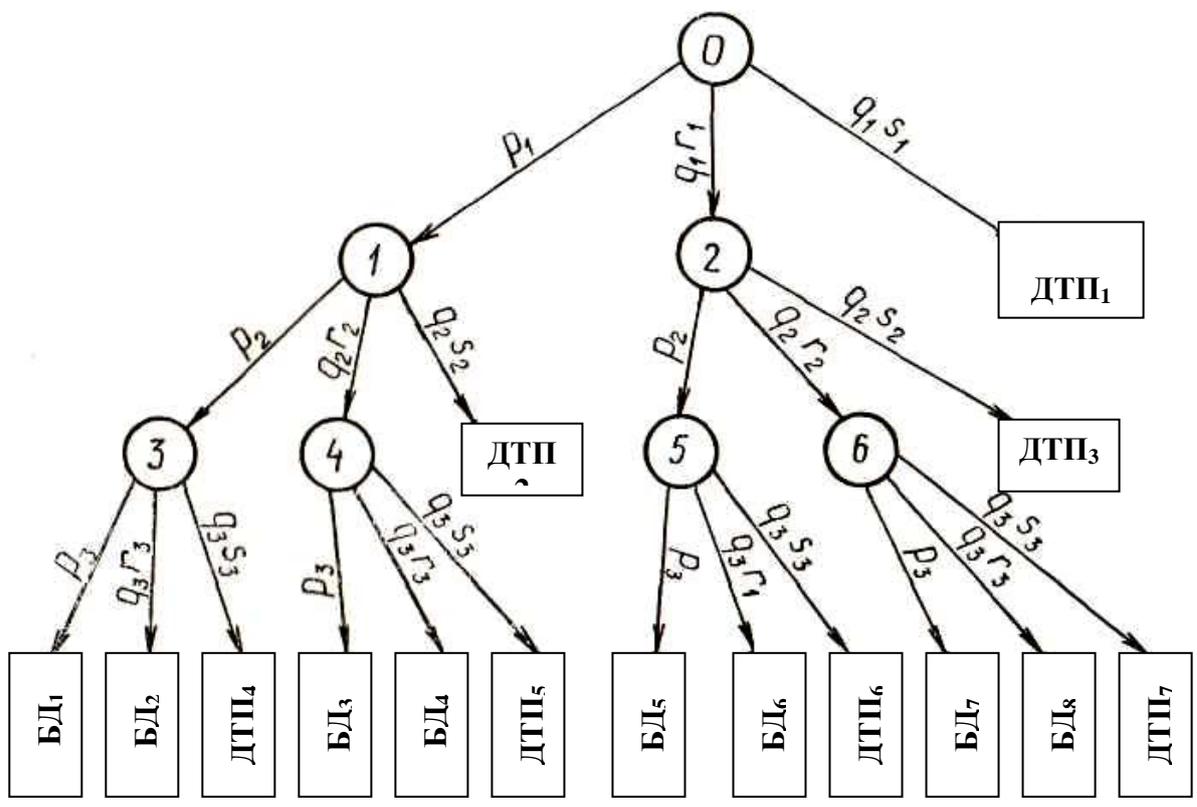


Рисунок 6.2 – Дерево исходов событий

Состояния $\{ДТП_i\}$ – неблагоприятные исходы рейса (Дорожно-транспортные происшествия) из-за допущенных ошибок ОП при подготовках систем. Дерево исходов событий (рисунок 6.2) позволяет получить вероятности благополучного P и неблагоприятного Q исходов рейса (дорожного движения) при возможных ошибках ОП в процессе обслуживания трех систем:

$$\begin{aligned}
P &= \sum_{m=1}^8 p_m \{БД_m\} = p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 q_3 r_3 + p_1 p_2 q_2 r_2 + p_1 q_2 r_2 q_3 r_3 + \\
&+ p_2 p_3 q_1 r_1 + p_2 q_1 r_1 q_3 r_3 + p_3 q_1 r_1 q_3 r_3 + q_2 r_1 q_2 r_2 q_3 r_3 = \\
&= \prod_{i=1}^3 p_i \left(1 + \sum_{i=1}^3 \frac{q_i r_i}{p_i} + \sum_{i=1}^2 \frac{q_i r_i}{p_i} \sum_{j=2}^3 \frac{q_j r_j}{p_j} + \prod_{i=1}^3 \frac{q_i r_i}{p_i} \right) \quad (6.3) \\
Q &= \sum_{l=1}^7 Q_l \{ДТП\} = 1 - P
\end{aligned}$$

Для любого числа n систем формула (6.3) может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned}
P &= \sum p_m \{БД_m\} = \prod_{k=1}^n p_k \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{q_i r_i}{p_i} \sum_{j=i+1}^n \frac{q_j r_j}{p_j} + \dots + \prod_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} \right) \\
Q &= \sum_l Q_l \{ДТП_\delta\} = 1 - P \quad (6.4)
\end{aligned}$$

Если вероятность p_i выпуска автомобиля в рейс с исправной i -й системой достаточно велика, то вероятности проявления в рейсе двух и более допущенных ошибок ОП малы и выражение (6.4) можно приближенно записать в следующем виде:

$$P \approx \prod_{k=1}^n p_k \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{q_i r_i}{p_i} \right)$$

Выражения (6.4) и (6.5) показывают, что БДД при возможных ошибках ОПС определяется не только вероятностью совершения этих ошибок, но и степенью опасности неисправностей систем, при обслуживании которых допущены ошибки. При наличии необходимых данных приведенные методы оценки влияния ошибок ОП на уровень БДД позволяют выявить наиболее опасные ошибки, рациональнее организовать обслуживание и контроль подготовки ТС, наметить мероприятия по повышению БДД.

6.3. Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения определяемой действиями обслуживающего персонала

Анализ характерных ошибок ОП при выполнении различных видов работ на ТС определяет основные направления мероприятий по повышению БДД (рисунок 6.3), имеющих цель устранение или ослабление неблагоприятного проявления «человеческих» и «личностных» факторов:

- обеспечение соответствия свойств техники возможностям человека;
- совершенствование системы подготовок ТС;
- обучение и подготовка водителей и обслуживающего персонала;
- обеспечение трудового распорядка и дисциплины;
- организация труда и отдыха.



Рисунок 6.3 – Перечень основных мероприятий

Первое из этих направлений, которое ОП реализует в виде предложений к промышленности и требований к ТС на различных этапах жизненного цикла ТС, в свою очередь распадается на два:

- улучшение свойств, характеризующих эксплуатационное совершенство ТС;
- повышение возможности предотвращения водителем последствий неисправностей ТС.

Неисправности ТС по своим последствиям могут иметь различную степень опасности. Поэтому с позиций обеспечения БДД не для всех агрегатов и систем нужно требовать одинаково высокое эксплуатационное совершенство. Для каждого ТС должна быть проведена ранжировка систем по степени опасности их неисправностей и системам, которые ведут к наиболее опасным последствиям при неисправности. Необходимо обеспечить лучшую их эксплуатационную технологичность, ремонтпригодность, контролепригодность и дефектоскопичность.

Высокое качество выполняемых работ определяется строгим соблюдением технологической дисциплины, которая включает полноту и последовательность выполнения операций, строгое выдерживание норм допуска на регулируемые параметры, использование исправной и своевременно проверенной контрольно-проверочной аппаратуры (КПА), кондиционных приспособлений, стендов и инструмента. В этих условиях важным мероприятием по обнаружению и устранению допущенных ошибок ОП является пооперационный контроль, то есть выполнение двойного контроля (исполнителем и мастером ОТК) наиболее ответственных видов работ, при которых могут быть допущены ошибки, приводящие к неисправностям ТС. В первую очередь для пооперационного контроля выделяются узлы, агрегаты и системы, неисправности которых в наибольшей степени угрожают БДД. Перечень контрольных операций периодически уточняется с учетом происходящих изменений в подготовке ОП и совершенства техники.

Используя выражение (6.4) для вероятности ДТП из-за ошибок ОП и зависимость вероятности выпуска в рейс с неисправной i -й системой от времени $T_{ОПi}$, отводимого на обслуживание и контроль системы (рисунок 3.1), можно решить задачу по оптимальному распределению времени $T_{ОПi}$ между различными системами с целью достижения Q_{\min} в условиях неизменного общего времени

подготовок. $T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_{OP_i}$ Очевидно, что такие оптимальные циклограммы подготовок ТС будут различны для районов эксплуатации с различными климато-географическими условиями, при изменении времени года, в зависимости от опыта ОП по эксплуатации ТС данного типа. Расчеты показывают, что оптимизация распределения суммарного времени контроля состояния систем дает возможность снизить уровень риска, определяемый ошибками ОП, на 10..15%.

С целью обучения специалистов качественному и безошибочному выполнению монтажно-демонтажных работ, осмотров и проверок ТС в АТП частях необходимо оборудовать технические классы со схемами и макетами, демонстрирующими работу различных систем и наиболее характерные ошибки ОП, облегчающие обучение ОП поиску и устранению неисправностей.

ИТР должны изучать индивидуальные особенности своих работников подчиненных, организовывать работу на технике с учетом психофизиологических свойств конкретных специалистов. Необходимо знать лиц, склонных к нарушению режима труда и отдыха, и в соответствии с этим проводить контроль их состояния перед допуском к работам.

Обусловленность ошибок ОП от многих факторов делает необходимым обеспечение постоянного внимания ко всем аспектам выбранных направлений по обеспечению безошибочной подготовки и эксплуатации ТС.

6.4. Методы оценки влияния действий водителя на безопасность дорожного движения

6.4.1. Подход к оценке БДД обусловленный действиями водителя

Под ошибкой водителя понимается неправильное, несоразмерное, некординированное или несвоевременное перемещение органов управления или включения систем, которое приводит к отклонению параметров движения за допустимые значения. При управлении ТС водитель выполняет следующие три

последовательных операции: прием информации, переработка информации и принятие решения, и исполнение принятого решения.

Ошибка водителя может зародиться на любой из этих операций и, несмотря на разные первопричины, привести к одним и тем же последствиям: неправильному или несвоевременному перемещению рычагов управления или включения систем (тормозной) и, как следствие, нежелательному изменению параметров движения. Однако для разработки эффективных мероприятий по устранению ошибочных действий водителя необходимо знать, на какой операции допущена ошибка и чем она вызвана: неправильным распределением или переключением внимания, незнанием как действовать в создавшейся ситуации, несвоевременным или неумелым исполнением принятого решения.

Водитель может допускать ошибки на различных этапах движения. Вероятность появления этих ошибок и условная вероятность предотвращения их последствий зависят от длительности рейса, но и от сложности выполнения задач, условий дорожного движения (скорости, состояния дороги, организации движения, метеоусловий и т. д.). Это значит, что от этапа к этапу дорожного движения в общем случае будут изменяться как вероятность ошибок водителя, так и условные вероятности предотвращения их последствий.

Разобьем рейс условно на m этапов, различающихся выполняемыми задачами, режимами и условиями движения. Если обозначить через P_j вероятность завершения j -го этапа рейса без ДТП, то вероятность завершения всего рейса без ДТП, связанного с возможными ошибками водителя определится из выра-

жения $P = \prod_{j=1}^m P_j$. Водитель может допускать ошибку в вождении или в экс-

плуатации ТС. Статистика показывает, что если все ошибки летного состава принять за 100%, то ошибки в технике вождения (особенно в сложных дорожных и погодных условиях) составляют 90...95%, и 5. ..10% ошибки в эксплуатации АТ. По своим последствиям ошибки водителя в эксплуатации ТС приводят к неисправностям или снижению ее надежности. Поэтому при таких ошибках водителя количественная оценка БДД может быть осуществлена теми же мето-

дами, что и при отказах техники. Отметим некоторые особенности в управлении ТС и возникающих при этом ошибках.

Во – первых, исправление водителем допущенной ошибки восстанавливает работоспособность системы. Это значит, что если водителю удалось предотвратить ДТП, то ТС либо возвращается в исходное состояние, либо переходит в новое безопасное положение, характеризуемое другими параметрами движения.

Во – вторых, действия водителя при возможных ошибках и оценка БДД при этом принципиально отличаются от действий водителя и оценки БДД, определяемой надежностью техники. Если при отказах техники водитель вмешивается в управление для предотвращения изменения параметров движения, то в рассматриваемом случае водитель сам изменяет параметры движения в желаемую сторону. При этом он стремится не только не допустить ошибки, но и выполнить задание с наибольшей точностью, т. е. обеспечить возможно меньшее отклонение определяющих параметров от рекомендуемых значений. Это значит, что управление ТС для изменения параметров движения в желаемую сторону и устранение произвольного их отклонения от рекомендуемых или желаемых значений за допустимый уровень представляет собой единый процесс управления. Другими словами, о допущенной ошибке водитель может не знать и характер управляющих действий его при этом не меняется. Разделение процесса управления на этап изменения параметров движения и этап устранения произвольного их выхода за допустимый уровень возможно только в тех случаях, когда допущенная водителем ошибка приводит к качественному изменению динамических свойств ТС (например, превышение скорости на повороте), либо о допущенной ошибке водитель узнает по сигнализации специальных технических устройств. В таких случаях водитель вынужден прервать процесс управления параметрами движения и предпринимать меры для предотвращения дальнейшего недопустимого их изменения. Количественная оценка БДД и уровня риска в таких частных случаях может быть произведена по выражениям:

$$P = p_i + q_i r_i$$

$$Q = q_i s_i$$

где p_i и $q_i s_i$ – вероятности недопущения и совершения ошибки;

r_i и s_i – условные вероятности предотвращения и непредотвращения последствий допущенной ошибки.

В – третьих, при выборе метода оценки влияния ошибок водителя на БДД необходимо учитывать, является ли вероятность появления этой ошибки функцией времени или вида и сложности движения. Так, например, ошибки при выдерживании заданного режима движения (скорости, положения на дороге и другие) зависят от продолжительности рейса : чем длительнее осуществляется рейс тем с большей вероятностью водитель может допустить ошибку. В то же время вероятность превышения из-за ошибок водителя допустимых значений таких определяющих параметров движения, как угол подъема и спуска, критическая скорость опрокидывания и другие зависят, главным образом, от вида маневра, а не от времени рейса.

В-четвертых, ошибки, совершаемые водителем на различных этапах процесса управления и угрожающие БДД, можно изучать по их проявлению: по изменению определяющих параметров или по отклонению органов управления. Предположим, что допустимое из условия обеспечения БДД изменение определяющего параметра x_i в функции некоторого параметра y_i определяется областью А (рисунок 6.4 а).

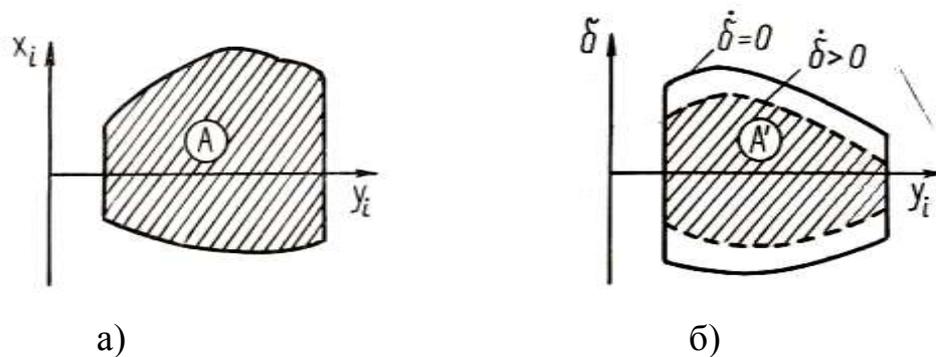


Рисунок 6.4 – Изменение определяющего параметра

Установившимся значениям параметра x_i на границе области A соответствуют вполне определенные отклонения органов управления отклонения органа управления δ_i . Найденные потребные значения δ_i при апериодическом переходном процессе изменения x_i образуют область A допустимых отклонений органа управления (рисунок 6.4 б). Если переходный процесс изменения x_i колебательный, то область допустимых отклонений δ_i будет являться функцией не только параметра y_i , но и скорости отклонения $\dot{\delta}_i$ (штриховая линия на рисунке 6.4, б). Последнее объясняется тем, что при увеличении скорости отклонения руля увеличивается заброс параметра x_i требуя для не превышения допустимого значения x_i уменьшить допустимую величину отклонений органа управления. Если известны допустимые области изменения определяющих параметров и управляющих отклонений органов управления (рисунок 6.4), то количественная оценка безопасности выполнения какого-либо маневра может быть произведена по полученным из обработки статистических данных законам изменения определяющих параметров или законам отклонения органов управления, либо методом статистических испытаний.

6.4.2. Оценка безопасности выполнения маневра по найденным законам распределения определяющих параметров

Из анализа изменения определяющих параметров движения при выполнении какого-либо маневра находится критический параметр и устанавливается, в какой части маневра он достигает наибольшего (экстремального) значения. Допустим, что при многократном повторении этого маневра различными водителями, мы построили гистограмму и нашли статистический закон распределения экстремального значения критического параметра. Пусть плотность распределения этого параметра $f(x)$ имеет вид, изображенный на рисунке 6.5.

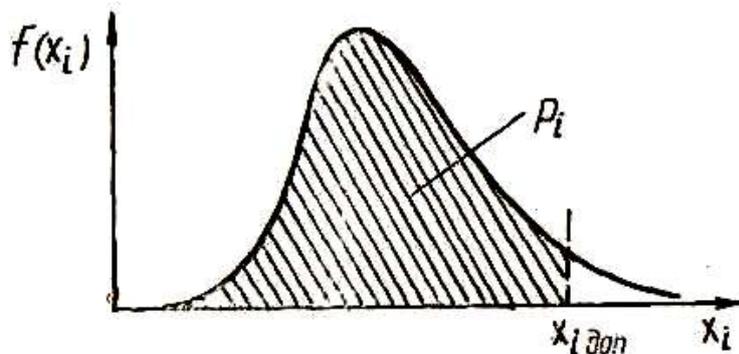


Рисунок 6.5 – Закон распределения

Если выход за допустимое значение определяющего параметра сопровождается качественным изменением динамических свойств ТС, либо о допущенной ошибке водитель информируется специальными техническими устройствами, то вероятность завершения маневра без ДТП определится выражением

$$P = p_i + q_i r_i \quad (6.5)$$

где
$$p_i = \int_0^{x_{иддо}} f(x_i) dx_i$$

Вероятность p_i непревышения параметром x_i , своего допустимого значения $x_{иддо}$ численно равна площади, заштрихованной на рисунке 6.5. В тех случаях, когда процесс управления нельзя разделить на этап изменения параметра для выполнения маневра и на этап предотвращения произвольного его выхода за допустимое значение, вероятность P благополучного завершения рейса (без ДТП) может быть вычислена непосредственно по формуле (6.5), где под верхним пределом изменения x_i следует принимать предельное значение параметра $x_{ипр}$, при превышении которого наступает ДТП.

Простота оценки безопасности выполнения маневра по закону распределения определяющего критического параметра является основным достоинством такого метода. Однако, интегрально характеризуя уровень безопасности выполнения маневра, этот метод не позволяет вскрыть причину снижения уровня БДД: неудовлетворительные характеристики устойчивости и управляемости, что является конструктивно-производственным недостатком, или ошибочные действия

водителя. Вследствие этого затрудняется разработка эффективных мероприятий по повышению БДД. Заметим, что для получения вида теоретического распределения параметра x_i по гистограмме ее распределения требуется достаточно большой массив статистических данных. Поскольку в рассматриваемых случаях нас интересует распределение экстремальных (максимальных или минимальных) значений определяющего параметра, подчиняющихся так называемому асимптотическому закону распределения, то задача оценки безопасности выполнения маневра может быть упрощена. В этих случаях целесообразно применение асимптотических распределений первого или третьего типа.

6.4.3. Оценка вероятности безопасного выполнения маневра по законам отклонения органов управления

Отклонение органов управления описывается системой случайных величин. Из обработки статистических материалов всегда представляется возможным получить закон управления, с помощью которого можно выполнить данный маневр или его часть. Предположим, что закон отклонения руля δ для выполнения какого-либо маневра является функцией δ_0 и $\dot{\delta}$, то есть $\delta = f(\delta_0, \dot{\delta}, t)$. В каждый момент времени t при постоянном значении δ_0 каждой совокупности δ и $\dot{\delta}$, будет соответствовать вполне определенное значение определяющего параметра x . При некоторой совокупности параметров δ^* и $\dot{\delta}^*$ определяющий параметр достигнет своего допустимого значения $x_{доп}$. Геометрическое место точек δ^* и $\dot{\delta}^*$, при которых определяющий параметр $x = x_{доп}$, образуют на фазовой плоскости δ и $\dot{\delta}$, δ и $\dot{\delta}$ границу $\dot{\delta}^* = f(\delta^*)$ разделяющую плоскость на область А ($x < x_{доп}$) допустимых значений параметра и область В ($x > x_{доп}$) – недопустимых (рисунок 6.6).

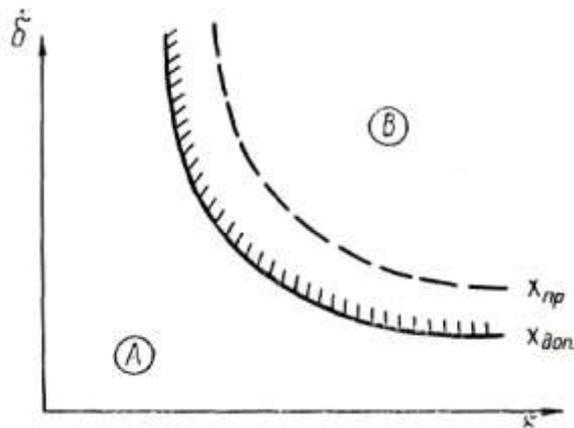


Рисунок 6.6 – Распределение определяющего параметра

При практическом выполнении рассматриваемого маневра у отдельных водителей наблюдается случайный разброс в величинах δ и $\dot{\delta}$, при этом они могут допускать и существенные отклонения математических ожиданий m_0 от рекомендуемых их значений. Вследствие этого при маневрировании в некоторых случаях может происходить выход определяющего параметра из области А допустимых значений в область В – недопустимых.

Для оценки вероятности попадания ТС область недопустимых значений определяющего параметра необходимо методами математической статистики найти законы распределения δ и $\dot{\delta}$, как случайных величин. Если случайные величины δ и $\dot{\delta}$, зависимы, то определяется двумерная плотность вероятности

$f(\delta, \dot{\delta})$ вероятность превышения определяющим параметром допустимого значения ($x > x_{\text{доп}}$), (попадание в область В) определится из выражения

$$q = \iint_B f(\delta, \dot{\delta}) d\delta d\dot{\delta} \quad (6.6)$$

и соответственно вероятность непревышения $x_{\text{доп}} p = 1 - q$.

В тех случаях, когда случайные величины δ и $\dot{\delta}$ независимы вероятность q определяется выражением

$$q = \int \int_B f(\delta) f(\dot{\delta}) d\delta d\dot{\delta} \quad (6.7)$$

где $f(\delta)$ и $f(\dot{\delta})$ – плотности вероятности независимых случайных величин δ и $\dot{\delta}$.

Вероятность выполнения маневра без ДТП в случае качественного изменения динамических свойств ТС при переходе из области А в область В, определится как $P = p + qr$. В тех случаях, когда процесс изменения параметров движения и предотвращения непроизвольного их выхода за допустимые пределы являются единым процессом управления, то граничная кривая $\dot{\delta}^* = f(\delta^*)$ (штриховая линия на рисунке 6.6) строится для превышения предельного значения определяющего параметра хир. В этом случае каждое попадание в область В эквивалентно ЛП и выражение (6.6) непосредственно определяет вероятность ДТП $Q_{\text{ДТП}}$

Пользуясь статистическими законами отклонения органов управления, можно не только количественно оценивать безопасность выполнения того или другого маневра, но и найти ошибку водителя, приводящую к выходу ТС в область недопустимо больших значений определяющего параметра и на этой основе разрабатывать эффективные мероприятия по повышению безопасности дорожного движения.

6.4.4. Использование модели действий водителя для оценки вероятности потери устойчивости замкнутым контуром «Водитель – транспортное средство»

В однотипной ситуации действия водителя в среднем подчиняются некоторой детерминированной закономерности, определяемой степенью обученности водителя и свойствами ТС (включая характеристики системы управления, системы индикации и другие). Математическое выражение этой закономерности

сти и будет представлять собой структуру модели действий водителя в данной ситуации. Отличие в действиях водителей в каждом конкретном случае обеспечивается представлением параметров модели в виде случайных величин.

При действии неблагоприятных факторов угроза БДД (выход определяющего параметра за предельные значения) может возникнуть по двум причинам:

– во-первых, из-за выброса в переходном процессе в первый момент после действия возмущения;

во-вторых, из-за потери устойчивости замкнутым контуром «Водитель – транспортное средство».

Вероятность первого события находится статистическим моделированием или расчетным методом, при этом модель действий водителя может иметь более простой вид.

Во втором случае в качестве вероятности превышения определяющим параметром своего допустимого значения можно принять вероятность Q_y потери устойчивости рассматриваемого контура. В решении этой задачи также имеются два направления: статистическое моделирование и расчетный (аналитический) метод. Если исследуемый контур имеет существенные нелинейности и нестационарен, то следует применить статистическое моделирование, в котором вероятность Q_y находится как вероятность выхода некоторой критериальной функции за границы устойчивости. Вполне очевидно, что метод статистических испытаний требует большого объема исследований, так как изучаемое явление относится к редким событиям, и это ограничивает его применение. Если же рассматриваемый контур представляет собой стационарную линейную систему, то искомую вероятность можно найти без применения статистического моделирования, как бы однократным расчетом. Рассмотрим сущность метода.

Пусть $W_p(D)$ – передаточная функция разомкнутого контура «Водитель – транспортное средство», имеющая в своем составе вектор случайных параметров x размерности m . Выберем в соответствии с принятыми критериями устойчивости (Гурвица, Найквиста – Михайлова, по корням характеристического уравнения и других) некоторый вектор критериальных функций $\varphi(x)$ размерности n в зависимости от вектора случайных параметров x , распределенных по

нормальному закону. Чтобы система была устойчива, необходимо выполнить условие устойчивости по каждой составляющей вектора $\vec{\varphi}$:

$$\vec{\varphi}_i(\vec{x}) > C_i \quad i = \overline{1, n} \quad (6.8)$$

Вероятность потери устойчивости по каждому элементу вектора $\vec{\varphi}$ в этом случае будет равна

$$Q = P\{\vec{\varphi}(\vec{x}) < C_i\},$$

Пусть $b_j, j = \overline{1, m}$ – событие нарушения условия (6.8) по x_j -му параметру. Обозначим через $q_j = P(b_j)$, а через $P_j = 1 - q_j$. Поскольку вероятность сохранения устойчивости контуром обычно высока, можно считать события b_j статистически несовместимыми. Это дает возможность оценить вероятность потери устойчивости по i -й компоненте вектора $\vec{\varphi}$ как $\vec{Q} = \sum_{j=1}^m q_j$ / Соответственно вероятность сохранения устойчивости по i -й компоненте $P_j = 1 - Q_j$. Тогда вероятности сохранения и потери устойчивости всего контура можно оценить по следующим соотношениям:

$$P_y = \prod_{i=1}^n P_i \quad Q_y = 1 - P_y = 1 - \prod_{i=1}^n P_i \quad (6.9)$$

Для определения вероятности Q необходимо найти характеристики распределения $\vec{\varphi}_i(\vec{x})$ через характеристики распределения параметров \vec{x} . Обычно $\vec{\varphi}_i(\vec{x})$ – сложная нелинейная функция, поэтому будем использовать линеаризацию функции $\vec{\varphi}_i(\vec{x})$ в области допустимых значений \vec{x} в виде

$$\varphi_i(\vec{x}_i) = \kappa(m_x) + \sum_{j=1}^m \frac{d\varphi_i}{dx_j} \Delta x_j$$

где \vec{m}_x – вектор средних значений параметров \vec{x} ; $\Delta x_j = x_j m_{xj} \frac{d\varphi_i}{dx_j} = \varphi_{ij}$

Тогда искомая статистическая модель распределения $\varphi_i(\vec{x})$ будет аппроксимироваться нормальным законом с параметрами, определяемыми свойствами линейного приближения функции

$$m_{\varphi_i} = \varphi_i(\vec{m}_x) \quad \sigma_{\varphi_i}^2 = \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}^2 \sigma_{xj}^2 \quad (6.10)$$

Обозначим через $U_i = \frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\sigma_{\varphi_i}}$ – безразмерный аргумент функции

Лапласа, соответствующий границе устойчивости по i -му элементу да. Используя выражение (6.10), получаем

$$U_{ij} = \frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\varphi_{ij} \sigma_{xj}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\varphi_{ij} \sigma_{xj}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{1}{U_{ij}^2}}}$$

где $U_{ij} = \frac{C_i - m_{\varphi_i}}{\varphi_{ij} \sigma_{xj}}$ граничное значение аргумента по x_j -му параметру.

Если между компонентами вектора $\vec{\varphi}$ и параметрами \vec{x} имеются существенные нелинейные связи, то значения аргументов функции Лапласа U_{ij} и могут быть найдены как $U_{ij} = (x_{ПРj} - m_{xj}) / \sigma_{ij}$, где предельные значения $x_{ПРj}$, соответствующие границе устойчивости контура по компоненте φ_i определяются численным способом с учетом корреляционной связи между параметрами x_j .

Поскольку при m_x система устойчива (рассматриваем замкнутый контур с большой вероятностью устойчивости), то $P_i = 0,5 + \Phi_0(U_i)$, что позволяет по выражению (6.9) найти вероятности P_y и Q_y .

Глава 7. Методологии построения системы управления безопасностью движения

7.1. Нормативное прогнозирование аварийности

Уровень безопасности движения в значительной степени определяется качеством управления системой ВАДС и её отдельными элементами. Управлению подлежат все процессы функционирования данной системы, в первую очередь планирование, организация и выполнение дорожного движения и их обеспечение, а при необходимости – процессы подготовки специалистов и водительского состава, разработки и испытания новых транспортных средств, а также структурные изменения самой системы.

Выработка управления и контроль правильности его реализации могут осуществляться разными путями. Одним из таких путей является путь, базиру-

ющийся на нормативном прогнозировании. Суть нормативного прогнозирования заключается в следующем:

1. Разрабатывается прогнозная модель, позволяющая оценивать вероятность благополучного завершения движения при заданных условиях выполнения и варианте управления, варианте обеспечения.

2. Проводятся систематические расчеты всего множества планируемых рейсов при различных вариантах управления и определения ожидаемого числа дорожно-транспортных происшествий.

3. Выбирается такой вариант управления, который обеспечивает минимум дорожно-транспортных происшествий. Этот вариант и принимается за норму.

Необходимым условием нормативного прогнозирования является детальное наблюдение за функционированием системы. Оно необходимо для

- разработки прогнозной модели и идентификации её параметров;
- собственно прогнозирования, при котором необходимо знать реальное состояние системы.

Объем и потребная детальность и оперативность наблюдения требуют автоматизации всех его основных процессов.

7.2. Автоматизированная информационная система

Для накапливания информации и возможности ее использования как для нормативного прогнозирования, так и для задач обеспечения повседневной деятельности АТП (планирование, учет, отчетность) необходимо создание в памяти ЭВМ так называемых баз данных и разработка программ системы управления базами данных.

База данных представляет собой упорядоченную структуру хранения информации как в оперативной памяти машины, так и на носителях (диски и тому подобное). Для обеспечения работы базы данных математическое обеспечение предусматривает наличие системы управления базой данных (СУБД). Разработка СУБД представляет собой сложную самостоятельную математическую задачу.

К базе данных автоматизированных информационных систем АТП поми-

мо общеизвестных предъявляются следующие специфические требования:

1. База данных автоматизированных информационных систем (АИС) автотранспортного предприятия должна содержать всю информацию, необходимую для планирования и организации повседневной деятельности АТП, с учетом всех требований обеспечения безопасности движения и выполнения грузовых и пассажирских перевозок и для уточнения информационной модели системы ВАДС.

2. Структура базы данных должна позволять, как наращивать базы новыми объектами, так и вводить новые атрибуты для существующих.

3. Объем базы данных должен позволить размещать её в ПЭВМ относительно невысокого класса.

4. При переходе водителя на новое место работы или передаче транспортных средств в другое АТП должна быть обеспечена возможность одновременной передачи всего информационного массива, относящегося к этим объектам.

5. Простота и время выборки должны быть минимальными при решении наиболее часто встречающихся задач.

6. Информация базы данных должна быть защищена как от несанкционированного обновления информации, так и от несанкционированного считывания.

7.3. Метод распознавания образов

Как известно, объектом теории безопасности движения является система ВАДС и её элементы, а предметом исследования – закономерности возникновения и развития особых (опасных) ситуаций. Учитывая, что выявление всех опасных ситуаций возможно только при использовании автоматизированной обработки дорожной информации, необходима разработка методов автоматизации оценки опасности опасных ситуаций.

В математическом аспекте подход базируется на теории распознавания образов.

Задача распознавания образов – есть задача определения типа объекта или процесса по качественным или количественным признакам, его описывающим.

Исходные данные – множество объектов или процессов, для каждого из которых известно описание в виде набора признаков и известно, к какому из возможных классов этого множества оно принадлежит. Задача - построить по этой информации такое правило, с помощью которого можно было бы достоверно классифицировать вновь появляющийся объект. Это правило ищется путем построения разделяющей гиперплоскости в многомерном пространстве признаков (рисунок 7.1).

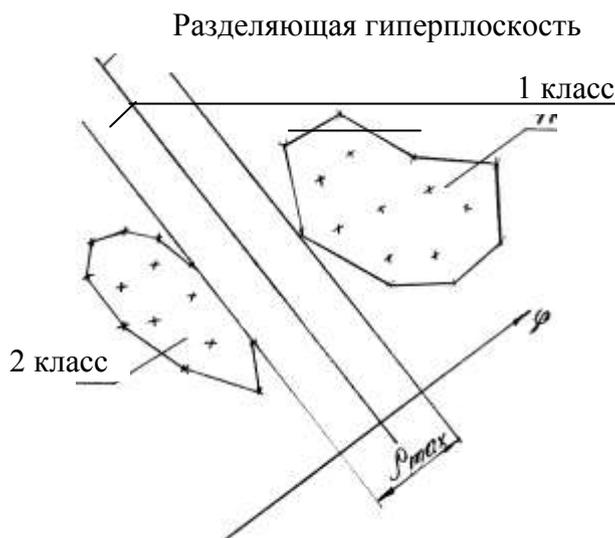


Рисунок 7.1 – Схема построения разделяющей гиперплоскости в многомерном пространстве признаков

Предполагается, что расстояние между проекциями на направление превосходит заданную константу. Если это условие не выполнено, то есть максимальное расстояние между проекциями оказывается меньше этой константы (или проекциями перекрывается), то из обучающей выборки исключается вектор, наиболее препятствующий успешному разделению. Поиск продолжается до тех пор, пока либо задача не будет решена, либо число исключенных векторов не превзойдет заданную долю числа векторов в обучающей выборке.

Классификация новых состояний объекта осуществляется по положению вектора, их описания относительно найденной плоскости.

Контроль качества построенного решающего правила проводится по экзаменационной выборке.

Процесс обучения распознаванию можно разбить на 3 последовательно

выполняемых этапа:

- построение признакового пространства;
- построение оптимальной разделяющей гиперплоскости;
- контроль качества построенной гиперплоскости по экзаменационной выборке.

В целом задача обучения распознаванию сводится к следующему. Различные состояния объекта предъявляются для обучения распознаванию в виде матрицы векторов. Каждая строка матрицы представляет собой p -мерный вектор значений признаков, являющихся обезразмеренными переменными каждого объекта. При этом очень важно, чтобы совокупность признаков в наибольшей степени характеризовала различия возможных состояний объекта. Кроме того, от размерности признакового пространства в значительной степени зависит вычислительная сложность процедур обучения распознаванию и достоверность самого распознавания.

Для сокращения размерности пространства признаков используется переход к дискретному их описанию. Весь диапазон изменения значений каждого признака разбивается специальным образом на интервалы. Разбиение осуществляется последовательно каждый раз на большее число интервалов.

При каждом варианте разбиения определяется степень информативности каждого признака. Величина информативности определяется по обучающей выборке. Физически она показывает, насколько эффективно признак при данном разбиении на интервалы способствует правильному распознаванию состояний объекта. Кроме этого, данная процедура позволяет исключать из обучения распознаванию малоинформативные признаки.

На втором этапе обучения распознаванию строится оптимальная разделяющая гиперплоскость.

Теоретические основы этого этапа состоят в следующем. Два конечных множества векторов

$$X = \{x_1, \dots, x_a\}$$

$$X = \{\overline{x_1}, \dots, \overline{x_b}\} \quad (7.1)$$

разделимы ориентированной гиперплоскостью, если существует такой вектор φ , что выполняются неравенства:

$$\begin{aligned} x_i^T \varphi &\geq c, & i = 1, \dots, a, \\ x_j^T \varphi &\leq c, & j = 1, \dots, b, \end{aligned} \quad (7.2)$$

где c – некоторая константа.

Среда всех φ есть φ_0 , определяющий такое направление, на котором проекции множеств x и \overline{x} наиболее отстоят друг от друга.

$$\varphi_0 = \arg \max_{\varphi} \left[\min_{x_i \in X} x_i^T \varphi - \max_{x_j \in \overline{X}} x_j^T \varphi \right] \quad (7.3)$$

Этот вектор φ_0 назван оптимальным, а полученная с его помощью гиперплоскость

$$xy_0 = c_0,$$

где

$$c_0 = \frac{\min x_i^T \varphi_0 + \max x_i^T \varphi_0}{2} \quad (7.4)$$

оптимальной разделяющей гиперплоскостью.

Основной задачей является отыскание оптимального направляющего вектора φ_0

Построение оптимального направляющего вектора φ_0 эквивалентно решению задачи отыскания максимума функционала

$$W(\alpha) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \alpha_{ij} - \frac{1}{2} \varphi^T \varphi, \quad (7.5)$$

$$\varphi = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \alpha_{ij}$$

где

$$z = \{z_{ij} = x_i - \bar{x}_j\}, \quad i = 1, \dots, a, \quad j = 1, \dots, b$$

всего a, b элементов.

α_{ij} – точка траектории движения к максимуму функционала $W(\alpha)$

Отыскав максимум функционала $W(\alpha)$, считается, что оптимальная разделяющая гиперплоскость построена. Она задана вектором:

$$\varphi = \sum_{i=1}^L \alpha_i (x_i - \bar{x}_i) \quad (7.6)$$

и числом

$$R = 0,5(x_* \varphi^T + \bar{x}_* \varphi^T) \quad (7.7)$$

где x_* и \bar{x}_* векторы разных классов, ближайšie к гиперплоскости.

Контроль качества построенного решающего правила осуществляется по достоверности распознавания экзаменационной выборки. Экзаменационная выборка – это последовательность векторов, не участвовавших в построении решающего правила, но принадлежность к классам опасности опасных ситуаций которых известна. Достоверность распознавания оценивается отношением числа правильно распознанных векторов к общему числу векторов экзаменационной выборки данного класса.

Заключение

Обеспечение безопасности дорожного движения при организации перевозок транспортными средствами является одной из главных задач коллективов соответствующих предприятий, осуществление которой возлагается на инженерно-технических работников предприятий, должны быть четко распределены зоны ответственности как по уровням власти, так и по ведомствам

Для предупреждения дорожно-транспортных происшествий, важное значение имеет наличие всесторонних знаний по обеспечению БДД у водителей и всех должностных лиц, ответственных за эксплуатацию транспорт-

ных средств. Однако получить такие знания сейчас совсем не просто. Парк машин постепенно стареет, новые транспортные средства закупаются в малом количестве, не хватает средств обслуживания и ремонта, к тому же он находится в ведении многих министерств и ведомств, при этом растет число машин частных владельцев. В стране действуют как международные, государственные так и ведомственные нормативы, что придает некоторую разобщенность в вопросе обеспечения безопасности дорожного движения.

Для того, чтобы понять, что ожидает нас завтра, необходимо оценить развитие тенденций набирающих силу сейчас. Данная работа направлена на ознакомление заинтересованных лиц с основными направлениями деятельности по обеспечению безопасности движения транспортных средств, ее проблемами, перспективами развития и совершенствования, с вопросами организации безаварийной работы на автотранспортных предприятиях.

Литература

1. Аничкин Б.Л. и др. Математическая статистика /Учебное пособие.– . Харьков, 1992. – 113 с.
2. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М; Финансы и статистика, 2001 – 228 с.
3. Абчук В.А. Экономико-математические методы «Элементарная математика». – С-П.: Союз, 1949. – 320 с.
4. Адоман В.В. Стохастические системы. – М.: Мир, 1987. – 376 с.
5. Амбарцумян В.В. и др. Безопасность дорожного движения. – М.:

Машиностроение, 1999. – 335 с.

6. Афанасьев М.Б. Булатов А.И. Скорость и безопасность движения на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1971.- 49 с.

7. Арндаренко В.Т. Пути предупреждения ДТП.–Л.: Лениздат, 1978.- 104 с.

8. Айвазян С.А. Статистические исследования зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессионного анализа к обработке результатов эксперимента. – М.: Metallurgy, 1968. – 227 с.

9. Бранд З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работ и инженеров./З. Бранд. Пер. с англ. – 2003. М.: Мир, – 696 с.

10. Боровской Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожно-транспортных происшествий. – Л.: Лениздат, 1984. - 305 с.

11. Бочаров Е.В., Замета М.Ю., Волошинов В.С. Безопасность дорожного движения. Справочник. - М.: Транспорт, 1983. – 284 с.

12. Богданов Ю.И. Основная задача статистического анализа данных, корневой подход. – М.: МИЭТ, 2002. – 95 с.

13. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 157 с.

14. Белов В.В. Теория графов: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1976. – 392 с.

15. Белов Д.К. Графы и статистические испытания в решении задач автомобильного транспорта: Учеб. пособие. – Ростов н/Д.: Изд-во Ростовский инженерно-строит. Институт, 1977. – 80 с.

16. Безопасность дорожного движения: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Луканина. – М. : Машиностроение, 1999. – 335 с.

17. Верховский И.А. Новая система планирования и экономического стимулирования предприятий автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. – 191 с.

18. Ветлинский В.Н., Осипов А.В. Автоматические системы управления автотранспорта. – С.- П. : Машиностроение, 1986. – 200 с.

19. Ватутин В.А. Вероятностные методы в физических исследованиях. – М.: Наука, 1985 – 207 с.

20. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1998 – 480 с.

21. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 369 с.
22. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1986. – 520 с.
23. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.
24. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
25. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник для вузов 7 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
26. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей. Учебное пособие для вузов 3 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 366 с.
27. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учебное пособие для вузов 2 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
28. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учебное пособие для вузов 2 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
29. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. Учебное пособие для студентов мех-мат. фак. – М.: Наука, 1975. – 318 с.
30. Вентцель В.В. Интегральная регрессия и корреляция. Статистическое моделирование рядов в динамике. М.: Финансы и статистика. – 223 с.
31. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Наука, 1980 – 208 с.
32. Воробьев Н.Н. Теория рядов (учебное пособие). – М.: Наука, 1979. – 408 с.
33. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. (Учебное пособие для ВУЗов по специальности экономика и организация автомобильного транспорта). – Киев.: Вища школа, 1967. - 197 с.
34. Гальянов И.В. Улучшение условий и охраны труда механизаторов сельского хозяйства путем совершенствования техники и технологии //Дисс. докт. техн. наук. – С-П.,1998. – 548 с.
35. Гальянов И.В. Прогнозирование числа дорожно-транспортных происшествий и пострадавших в них. – Сб. науч. трудов. ”Теоретические и практические аспекты охраны труда в АПК”. – Орел: ВНИИОТ, 1995. – С. 96 – 101.
36. Гнурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика:

Учеб. пособие для вузов– М.: Высш. шк., 2004. – 478 с.

37. Гмурман В.Е. Руководство по решению задач по теории вероятностей и математической статистике. Учебное пособие для вузов 8 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2003. – 405 с.

38. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов 9 – е изд. стереотип. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

39. Гирко В.Л. Спектральная теория специальных матриц. – М.: Наука, 1988. – 375 с.

40. Гудз Г.С. Исследование режима тормозных механизмов автомобильных колес методами физического и математического моделирования //Дисс. канд. техн. наук. – Львов, 1971. – 137 с.

41. Гниденко Б.В. Курс теории вероятностей.–М.: Наука, 1969.–540 с.

42. Гниденко Б.В. Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1982 – 156 с.

43. Глинский Б.А. Моделирование как метод научного исследования. – М.: Наука, 1965.

44. Дынкин Е.Б. Марковские процессы. – М.: Физматгиз, 1963. – 860 с.

45. Дынкин Е.Б., Юшкевич А.А. Теоремы и задачи процессов Маркова. – М.: Наука, 1967. – 232 с.

46. Джонс И. Влияние параметров автомобиля на ДТП //Перевод с английского Мойзельс С.Р. под ред. Ротенберга Р.В.. – М.: Машиностроение, 1979. – 207 с.

47. Дрю Дональд Р. Теория транспортных потоков и управление ими //Пер. с английского Коваленко Е.Г. и Щермака Г.Д. под редакцией чл. кор. АН СССР Бусненко Н.П. - М.: Транспорт, 1972. - 424 с.

48. Длин А.М. Математическая статистика в технике: Учеб. пособие для вузов. – М.: Сов. Наука, 1958. – 466 с.

49. Евстигнеев.В.А. Применение теории графов в программировании. М.: Наука, 1985. – 352 с.

50. Живонищев Ф.А., Иванов В.А. Регрессионный анализ в экспериментальной физике. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 208 с.

51. Жерондо Крисман. Безопасность движения прошлое, настоящее, будущее. // Пер. с фран. под редакцией Жулева В.И. – М.: Юридическая литература, 1983. - 224 с.

52. Журбенко И.Г. Анализ стационарных и однородных случайных си-

стем: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 240 с.

53. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: ДИС, 2001.

54. Зотов Б.И., Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве. – М.: Колос, 2000. – 416 с.

55. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 382 с.

56. Зырянов Б.А. и др. Методы и алгоритмы обработки случайных детерминированных периодических процессов. – Свердловск: Изд-во Урал. Унта, 1990. – 115 с.

57. Ибрагимов И.А., Розанов Ю.А. Гауссовские случайные процессы. – М.: Наука, 1970. – 384 с.

58. Исследования по прикладной теории графов // Академия наук СССР, Сиб. отд – ние, В.Ц.; отв. Ред. А.С. Алексеев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд – ние, 1986. – 167 с.

59. Ивуть Р.Б. Статистика автомобильного транспорта: Учеб. пособие. – Минск: Изд-во БНТУ, 2003. – 231 с.

60. Кисляков В.М. и др. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В.М. Кисляков, В.В. Филиппов, И.А. Школяренко. – М.: Транспорт, 1979. – 199 с.

61. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 2001. – 246 с.

62. Коноплянко В.И. Информативность транспортных средств. – М.: Машиностроение, 1984. – 97с.

63. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 254 с.

64. Климов Г.П. Теория вероятностей и математическая статистика – М.: Изд-во МГУ, 1983 – 328 с.

65. Коваленко И.Н. Вероятностный расчет и оптимизация. – Киев: Наук. думка, 1989 – 191 с.

66. Кожевников Ю.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов.- М.: Машиностроение, 2002 – 414, с.

67. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика. – Учеб. Для вузов. – М.: ЮНИТИ, 2003,. – 352 с.

68. Колмочаров А.М. и др. Введение в теорию вероятностей. – М.: Наука, 1986. – 159 с.
69. Колмочаров А.М. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1986. – 534 с.
70. Комарницкая О.И., Старидин К.Б. Применение теории вероятностей в инженерных и экологических задачах. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1973 – 73 с.
71. Кордонский Х.Б. Приложения теории вероятностей в инженерном деле. – М.-Л.: Физматиздат, 1963 . – 435 с.
72. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. для вузов. – М.: ЮНИТИ, 2004. – 573 с.
73. Купер Джорж, Макчиллен Клер. Вероятностные методы анализа сигналов и систем /Пер. с англ. Е.М. Липовецкого, А.И. Папкина; Под ред. В.Т. Горайнова. – М.: Мир, 1989. – 1989. – 376 с.
74. Квуснер Гарольд Дж. Вероятностные методы аппроксимации в стохастических задачах управления и теория эллиптических уравнений / Пер. с англ. Л.Г. Михайловской; Под ред. Н.В. Крылова. – М.: Наука, 1985. – 203 с.
75. Конюховский П.П. Математические методы исследования операций. – М, 2002. –
76. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования./Под ред А.А. Саморского. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
77. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1991 – 183 с.
78. Краскевич В.Е., Зеленский К.Х., Гречко В.И. Численные методы в инженерных исследованиях. – Киев.: Вища школа, 1986. – 263 с.
79. Королюк В.С., Портенко Н.И. Скороход А.В. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
80. Котик М.А. Беседы психолога о безопасности дорожного движения. – М.: Транспорт, 1989. – 85 с.
81. Кисляков В.М. и др. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. – М.: Транспорт, 1979. – 199 с.
82. Колиндз Д. Морис Д. Анализ дорожно-транспортных происшествий //Перевод с англ. Марголиса С.А.. – М.: Транспорт, 1971. – 148 с.

83. Кашерон П., Линт Дж. Теория графов, теория кодирования и блок – схемы / Пер. с англ. Б.С. Стеченко. – М.: Наука, 1980. – 139 с.
84. Каток А.Б., Хассельблат Б. Введение в современную теорию динамических систем / Пер. с англ. – М.: Факториал, 1999. – 667 с.
85. Лачуга Ю.Ф. и др. Прикладная математика, нелинейное программирование в инженерных задачах (учебное пособие). – М.: Колос, 2001. – 288 с.
86. Лысенко Н.М. Безопасность полетов летательных аппаратов. – М.: ВВИА, 1980. – 267 с.
87. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
88. Лиггет Томас М. Марковские процессы с локальным взаимодействием / Пер. с англ. А.Л. Тома, С.Б. Шлосмана; Под ред. Р.Л. Добрушина. – М.: Мир, 1989. – 550 с.
89. Лохов А.Н. Организация управления на автотранспорте: Опыт. Проблемы. Перспективы. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
90. Мищурин В.М., Романов А.Н. Надежность водителя и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1990. – 167 с.
91. Лохов А.Н. Организация управления на автотранспорте: Опыт. Проблемы. Перспективы. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
92. Малишевский А.Ф. научные модели в теории сложных систем. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 526 с.
92. Мирский Г.Я. Характеристики стохастических взаимосвязей и их измерения, - М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
93. Математическая статистика: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 423 с.
94. Матвеев Н.М., Доценко А.В. Математическое моделирование реальных процессов. – С-П.: Знание, 1985. – 32 с.
95. Миллер Б.М., Панков А.В. Теория случайных процессов в примерах и задачах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с.
96. Новиков О.А. Уваров В.Н. Вероятностные методы решения задач автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. - 136 с.
97. О внесении изменений и дополнений в решения Правительства РФ по вопросам обеспечения безопасности дорожного движения: Постановление Пра-

вительства РФ от 24 января 2001 года №67. – М.: Б. н., Б. г. – 11 с.

98. Оре О. Теория графов / Пер. с англ. – М.: Наука, 1980. – 336 с.

99. Окунь Ян Факторный анализ / Пер. с польск. Г.З.Давидовича. – М.: Статистика, 1974. – 200 с.

100. Прохоров Ю.В. Розанов Ю.А. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы. – М.: Наука, 1987. – 397 с.

101. Правила дорожного движения. / Утверждены Постановлением Правительства РФ от 23 октября 1993 г. №1090.

102. Правила по охране труда на автомобильном транспорте: ПОТ РО – 200 – 01 – 95/М-во транспорта РФ. – М.: Апрохим, 2000. – 170 с.

103. Рапопорт А.Н. Математические аспекты абстрактного анализа. – М.: Мир, 1969.

104. Романовский В.И. Дискретные цепи Маркова. – М.-Л.: Гостехиздат, 1949. – 436 с.

105. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы В- А- Д- С. – М.: Машиностроение, 1986 – 214 с.

106. Рыбин А.Л. Совершенствование методов анализа дорожно-транспортных происшествий в целях повышения безопасности движения в городах // Дисс. ... канд. техн. наук. – М, 1998. – 155 с.

107. Сакович Н.Е Теория и практика обеспечения безопасности дорожного движения в АПК [Текст]/Н.Е. Сакович, В.С. Шкрабак, Е.Н. Христофоров, Н.Е. // Монография. – Брянск.: Изд. Брянская ГСХА, 2008. – 285 с. – ISBN 5 – 88517 – 146 – 7.

108. Скляревич А.Н., Скляревич Ф.К. Вероятностные модели объектов с возможными изменениями. – Рига: Зинятне, 1989. – 366 с.

109. Татт У. Теория графов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 424 с.

110. Талицкий И. И., Чугуев В.Л., Щербинин Ю. Ф. Безопасность движения на автомобильном транспорте. /Справочник. – М.: Транспорт 1988 – 158 с.

111. Тарасевич И.Т. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс (учебное пособие). – М.: УРСС, 2001. – 2001 с.

112. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. – М.: Соврадио, 1977. – 488 с.

113. Усманова М.Н. Математико-статистическое моделирование процес-

сов безопасности дорожного движения (по материалам Минавтотранса УзССР). //Дисс. канд. техн. наук. – Ташкент, 1991. – 150 с.

114. Усманов А.И. Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978.

115. Федеральный закон “О безопасности дорожного движения”. Принят Государственной думой 15.11.1995 г.

116. Харрари Ф. Теория графов / Пер. с англ.; Под ред. Г.П. Гаврилова. – М.: УРСС, 2003. – 297 с.

117. Хариашов Б.П. Непрерывные полумарковские процессы. – СПб.: Наука, 2001. – 431 с.

118. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. и др. Вероятностные методы анализа дорожно- транспортных происшествий. // Сб. науч. трудов «Безопасность и экология технологических процессов и производств». Ростов-на -Дону: Дон ГАУ, 2004. – С. 88-91.

119. Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е. и др. Мероприятия по повышению безопасности дорожного движения и оценка их эффективности // Сб. науч. трудов «Безопасность и экология технологических процессов и производств». Ростов-на -Дону: Дон ГАУ, 2005. – С. 186-188.

120. Цветкович Драгош и др. Спектр графов. Теория и применение / Пер. с англ. В.В. Строка; Под ред В.С. Королюка. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 383 с.

121. Экономико-математические методы и прикладные модели. /Под. Ред. В.В. Федосеева. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.

МОНОГРАФИЯ

Сакович Наталия Евгеньевна

**Математическое моделирование в обеспечении
безопасности дорожного движения**



Редактор: Павлютина И.П.

Подписано к печати 7.02.11. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага печатная. Усл. печ.10,23. Тираж 1000 экз. Изд. №1885.

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии
243365 Брянская обл. Выгоничский район, с. Кокино