

УДК 659.113/115:658.382.015.12:331.101.1

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ–АВТОМОБИЛЬ–ДОРОГА–СРЕДА» НА ОСНОВЕ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОГО ПОДХОДА КАК ПРОБЛЕМА BIG DATA



А.М. Линник

аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР



А.Г. Давыдовский

доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: agd2011@list.ru*

А.М. Линник

Аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР. Область научных интересов: проблемы, перспективы и области применения нейронных сетей для анализа и решения широкого спектра прикладных задач.

А.Г. Давыдовский

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат биологических наук, доцент. Окончил докторантуру БГУИР по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». Проводит научные исследования в области социальной информатики, математического моделирования биологических и биосоциальных систем, методологии превентивного управления рисками в социотехнических и инновационных производственных системах. Член ряда международных научных обществ. Автор учебных программ и пособий для студентов и магистрантов.

Аннотация. Статья посвящена системному анализу обеспечения надежности системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» на основе социотехнического подхода с использованием технологий Big Data. Разработаны восемь базовых социотехнических схем для системного анализа и моделирования структурно-функциональной организации системы «водитель–автомобиль–дорога–среда». С помощью предложенных социотехнических схем разработаны формальные стохастические модели надежности системы «водитель–автомобиль–дорога–среда». Подобные стохастические модели и сценарии функционирования системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» могут составить основу для обучения нейросетевых информационно-аналитических интеллектуальных технологий в управлении транспортными потоками и интермодальными терминалами и интегрированными транспортными системами. Обоснована целесообразность разработки электронного «индивидуального риск-паспорта водителя» на основе нейросетевых информационно-аналитических интеллектуальных технологий, технологий Big Data и облачных сервисов.

Ключевые слова: система «водитель–автомобиль–дорога–среда», надежность, системный анализ, стохастические модели, социотехнический подход, дорожно-транспортные происшествия.

Введение. В докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на основе анализ информации из 180 стран подчеркивается, что ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) погибает от 1,24 до 1,3 млн человек, при этом неуклонно возрастает численность автотранспортных средств, в особенности в крупных городах с численностью населения более 1 млн чел. Вместе с тем, в авиакатастрофах ежегодно гибнут около 800 человек, что в 1500 раз меньше, а в железнодорожных катастрофах – в среднем 100 человек в год. Данная статистика свидетельствует о том, что ДТП занимают лидирующие позиции по

смертности по сравнению с другими авариями и происшествиями в мире. Для ДТП характерен значительный материальный ущерб. Для снижения материальных потерь, смертности и травматизма на дорогах непрерывно ужесточаются правила дорожного движения, совершенствуется нормативно-законодательная база, оптимизируются страховые процедуры, возрастают технические требования к средствам передвижения, внедряются интеллектуальные системы мониторинга и контроля транспортных потоков и технического состояния автотранспортных средств в условиях мегаполисов и транспортных коридоров территориально-экономических комплексов. Причиной более 70% ДТП является «человеческий фактор» [1]. При этом гибель в автокатастрофе остается причиной смерти «номер один» для людей в возрасте от 15 до 29 лет. Среди участников дорожного движения наиболее уязвимой группой были признаны мотоциклисты, на долю которых приходится около 23% всех смертельных исходов ДТП. Во многих регионах планеты эта проблема усугубляется. Пешеходы и велосипедисты также входят в число наименее защищенных групп, на которые приходится 22% и 4% случаев смерти в мире соответственно. Некоторые транспортные средства, продаваемые в 80% всех стран мира, не соответствуют базовым стандартам безопасности. Особенно это касается стран с низким и средним уровнем дохода населения. Необходимо отметить, что именно в странах с невысоким и средним уровнями дохода наблюдается около 90% случаев смерти в результате ДТП, тогда как на них приходится только 54% транспортных средств в мире [1, 2]. Как следует из «Доклада о состоянии безопасности дорожного движения в мире за 2015 год», чтобы достигнуть основных целей «Десятилетия действия по обеспечению безопасности дорожного движения» (2011–2020 гг.) и ряда целей в области устойчивого развития необходимо вдвое сократить во всем мире число смертей и травм в результате дорожно-транспортных происшествий к 2020 году [2, 3]. Вместе с тем, ни в одной стране с низким уровнем дохода общая смертность от ДТП не снизилась, что в значительной мере объясняется отсутствием таких мер [4].

Для решения задач мониторинга численности и ситуаций ДТП могут быть эффективно использованы интеллектуальные информационные технологии и технологии Big Data. Вместе с тем, обеспечение снижения частоты ДТП и степени тяжести их последствий может быть достигнуто благодаря повышению надежности системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» на основе социотехнического подхода.

Цель работы – системный анализ обеспечения надежности системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» на основе социотехнического подхода с использованием технологий Big Data.

Проблема надежности социотехнической системы «водитель–автомобиль–дорога–среда». Обеспечение безопасности дорожного движения как динамического процесса, объединяющего множество участников, технических средств, конструктивных элементов и особенностей дорожной инфраструктуры, а также факторов среды, требует многофакторного системного анализа надежности социотехнической системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» (ВАДС), которая характеризуется внушительным массивом параметров, коррелирующих между собой, а значит поддающихся математическому анализу, накоплению и обработке.

На основе результатов эмпирических исследований психофизиологических характеристик водителей автотранспортных средств были выделены важнейшие количественные критерии для оценки функциональной и профессиональной надежности водителей. Предложена концептуальная модель управления надежностью водителей, включающая интегрированную систему параметров психофизиологического состояния человека в системе ВАДС (1):

$$P_{\text{ВАДС}} = f\{UV, RT, TCPS, CTF, SE, MCIDPS, t\} \quad (1)$$

где UV – stability of attention (устойчивость внимания),

EU – emotional stability (эмоциональная устойчивость),

RT-reaction time (время реакции),

TCPS – technical characteristics of the car that affect the psycho-physiological state (множество технических характеристик автомобиля, оказывающих влияние на психофизиологическое состояние водителя),

CTF – characteristics of traffic flow (характеристики дорожного движения, включая плотность и интенсивность транспортного потока, частота остановок, средняя скорость движения),

SE – state of the environment (climatic characteristics, time of day), состояние среды (климатические характеристики, время суток),

MCIDPS – many channels of identification of the driver's psychophysiological state (множество каналов идентификации психофизиологического состояния водителя),

t – профессиональный стаж водителя.

Кроме того, важную роль в управлении надежностью и безопасностью системы ВАДС играют социально-психологические факторы функциональной надежности водителя: отношение к работе, интерес к ней, точность, аккуратность, чувство ответственности, дисциплинированность, трудолюбие; отношение к другим участникам дорожного движения (коллегам по работе, водителям, пешеходам, пассажирам).

Важнейшим фактором безопасности дорожного движения является функциональная надежность водителя – комплексное свойство функциональных систем его организма, которые обеспечивают динамическую устойчивость при выполнении профессиональной деятельности на протяжении определенного периода времени и на заданном уровне качества. Функциональная надежность водителя зависит от таких профессионально важных качеств (ПВК), которые необходимы для его безошибочной и безопасной деятельности в системе ВАДС, как [5, 6]:

- 1) сила, подвижность и уравновешенность нервных процессов с учетом индивидуально-типологических характеристик (темперамента, интро- и экстраверсии);
- 2) распределение, концентрация, переключение внимания;
- 3) скорость сенсомоторной реакции;
- 4) высокая эмоциональная и стрессоустойчивость;
- 5) низкий или средний уровень ситуативной и личностной тревожности.

Все компоненты системы ВАДС при их совместном функционировании приобретают новые свойства, которые отсутствуют у каждого компонента системы в отдельности. При этом каждый из компонентов системы ВАДС может рассматриваться как система более низкого уровня. Нарушения в работе каждого из компонентов системы ВАДС приводят к снижению ее эффективности (уменьшению скорости движения, немотивированным остановкам, увеличению расхода топлива) или к аварии (дорожно-транспортному происшествию - ДТП).

Методологические основы исследования надежности социотехнической системы ВАДС. В условиях транспортного потока в современном мегаполисе формируется сложная динамическая система, включающая в себя совокупность элементов *человек, автомобиль, дорога*, функционирующих в определенной *среде*. Эти элементы единой дорожно-транспортной системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) находятся в определенных отношениях и связях друг с другом и образуют целостность. Они формируют факторы риска, которые могут привести к ДТП. основополагающими концепциями и подходами в изучении надежности профессиональной деятельности водителя в системе ВАДС [5–9] выступают:

1. Системный подход Б.Ф. Ломова, позволяющий рассматривать природу психического во множестве внутренних и внешних отношений, как целостной системы,

осуществить анализ особенностей взаимодействия человека и машины в профессиональной деятельности, установить их роль в регуляции деятельности и обеспечении функциональной надежности;

2. Деятельностный подход С.Л. Рубинштейна, А.Н. Леонтьева, Е.А. Климова, Г.С. Никифорова, Г.В. Суходольского, в рамках которого обсуждается необходимость учета причинно-следственных связей на разных уровнях трудового процесса, возможность анализа специфических качеств и свойств личности, которые позволяют субъекту труда осуществлять самоорганизацию, самоконтроль и саморегуляцию в соответствии с условиями деятельности;

3. Концепция «кольца в кольце», предложенная Г.С. Никифоровым, согласно которой самоуправление (саморегулирование) встроено в кольцо механизмов самоконтроля и предполагает сбор и анализ информации о внешней обстановке и условиях, в которых предстоит выполнять деятельность; принятие решения о характере необходимых действий по достижению поставленной цели и выбор соответствующей программы (последовательности) действий; собственно реализация намеченной программы.

Системный анализ надежности социотехнической системы ВАДС включает исследование, моделирование и прогнозирование надежности водителя как ее важнейшего компонента. Такое исследование надежности водителя в системе ВАДС может быть реализовано с помощью психодиагностического комплекса, основанного на методиках, включающих [5, 7]:

- методику многофакторного исследования личности Р. Кеттелла;
- методику «Индикатор копинг-стратегий» Д. Амирхана;
- методику диагностики предрасположенности личности к конфликтному поведению К. Томаса;
- методику выявления и анализ профессионально-важных качеств специалистов системы «Человек–техника»;
- методику для психологической диагностики уровня социальной фрустрированности Л.И. Вассермана, Б.В. Иовлева, М.А. Беребина;
- экспертную оценку степени надёжности водительской деятельности (авторская методика);
- тест «сложная сенсомоторная реакция на свет»;
- тест «пропускная способность зрительного анализатора»;
- тест «реакция на движущийся объект (РДО)».

С точки зрения безопасности дорожного движения интерес для системного изучения представляют как сами факторы риска, так и их различные сочетания, а именно: человек – автомобиль, автомобиль – дорога, дорога – человек.

В 57 % случаев главная причина ДТП - ошибка человека; в 27 % случаев причиной ДТП является проблема взаимодействия человека и дороги; в 6 % случаев причиной ДТП является проблема взаимодействия человека и автомобиля; в 3 % случаев причиной ДТП является проблема многостороннего взаимодействия человека, автомобиля и дороги [5–7].

Таким образом, можно выделить четыре ключевых аспекта обеспечения комплексной безопасности дорожного движения:

- повышение безопасности поведения участников дорожного движения (фактор «человек»);
- повышение безопасности транспортных средств (фактор «автомобиль»);
- повышение безопасности дорожной инфраструктуры (фактор «дорога»);
- рациональная организация транспортного потока, специфики движения с учетом технических, социальных, ландшафтных и погодных-климатических условий внешней среды (фактор «среда»).

Можно считать установленным, что наименее надежным элементом системы ВАДС является человек. По некоторым данным, из-за ошибок человека – водителя и пешехода –

происходит более 80% ДТП. Между человеком-пешеходом и человеком-водителем, как основными участниками дорожного движения, имеется существенное различие, обусловленное генетически: пешеход при ходьбе выполняет естественные движения и перемещается с естественной для него скоростью, водитель же совершает своеобразные рабочие движения с относительно небольшой нагрузкой, а скорость его перемещения в десятки раз больше естественной. Водитель в транспортном потоке вынужден действовать в навязанном ему темпе, последствия его решений в большинстве случаев необратимы, а ошибки имеют тяжелые последствия. Причем возраст, а также физиологические, психологические и психофизиологические характеристики водителя являются важнейшими детерминантами надежности системы ВАДС [5].

Возраст водителя как фактор, влияющий на надежность функционирования системы ВАДС, оценивается по вероятности попадания водителей в ДТП. Статистический анализ ДТП, проведенный в разных странах, выявил некоторые общие закономерности, касающиеся возраста водителей. Существуют понятия «младший опасный возраст» и «старший опасный возраст». В целом вероятность попадания молодых водителей в ДТП велика. С увеличением возраста надежность водителя возрастает, но происходит это у мужчин и женщин по-разному: нижняя граница условно-безопасного возраста у мужчин наступает примерно к 26–34 годам, а у женщин – к 23–27 годам. С увеличением возраста водители-женщины раньше водителей-мужчин выходят из условно-безопасного возраста. Старший опасный возраст при одинаковом коэффициенте опасности наступает у женщин в 63 года, у мужчин - в 69. При достижении этих возрастных границ накопленный опыт не компенсирует замедления реакций. Это предоставляет лишь ориентировочную информацию, поскольку не учитываются тяжесть проанализированных ДТП, условий их возникновения и характера (удары в бок автомобиля, фронтальные столкновения, количество участвовавших в ДТП автомобилей и др.) [5, 7, 8]. Мировая статистика свидетельствует, что риск ДТП максимален в случае управления автомобилем молодыми (до 25 лет) и пожилыми (старше 65 лет) водителями. При этом среди молодых водителей и водителей среднего возраста риск ДТП для мужчин значительно выше, чем для женщин, а среди водителей старшего возраста преобладает противоположная тенденция - риск ДТП для женщин старшего возраста выше, чем для мужчин того же возраста [1, 2, 5, 7].

Относительно большая доля ДТП, приходящаяся на молодых водителей мужского пола, выявляет в основном проблему, обусловленную поведением, а для людей пожилого возраста - обусловленную физиологией, хотя опыт водителя старшего возраста способен компенсировать снижение его физических возможностей. Риск ДТП максимален, когда за рулем находится молодой мужчина с опытом первого года вождения. Однако при стаже водителя 5 лет (± 2 года) обнаруживается второй пик риска ДТП. Возникающие на первом году вождения ДТП обусловлены преимущественно недостатком опыта, увеличение риска ДТП на пятом году вождения имеет психологическую природу. Большое влияние оказывает информированность водителей об общей статистике ДТП, периодах времени и участках дорожной сети с повышенным риском ДТП для данного района.

Важнейший вклад в формирование надежности социотехнической системы ВАДС вносит потенциал надежности водителя транспортного средства. Характеристика потенциала надежности водителя представлен в таблице 1.

Конечно же, особое место в повышении риска ДТП в опасных состояниях занимает алкогольное и наркотическое опьянение водителя, а также неконтролируемое применение психотропных препаратов.

К опасным состояниям относятся также утомление и усталость, являющиеся различными понятиями. Утомление как комплекс физиологических изменений в организме человека, вызванных тяжелым или длительным трудом, является конфликтом между требованиями работы и физиологическим снижением работоспособности. По статистике, в

течение двух сверхурочных часов работы аварийность и травматизм на производстве возрастают в 2,5 раза.

Таблица 1. – Характеристика потенциала надежности водителя [5, 7, 10, 11]

№ п/п	Компоненты надежности водителя	Негативные проявления компонентов потенциала надежности водителя
1	Состояние потребностно-мотивационной сферы	<ul style="list-style-type: none"> – Уменьшение потребности в работе водителем; – Снижение профессиональной мотивации; – Неспособность водителя управлять мотивацией и осуществлять рефлексию собственной деятельности, когда этого требуют дорожная обстановка; – Мотивированность на заведомо опасные действия и т.п.
2	Уровень профессиональной готовности (технической и психофизиологической)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Невысокая квалификация водителя; 2. Слабая подготовка к предстоящей поездке; 3. Недостаточная подготовка по предупреждению и парированию нештатных ситуаций на дороге; 4. Неподготовленность в области психофизиологических вопросов вождения.
3	Состояние профессиональной работоспособности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижение работоспособности; 2. Полная утрата работоспособности.
4	Уровень развития профессионально важных качеств	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отдельные качества имеют недостаточный уровень развития.

В последние десятилетия с увеличением дальности поездок и скоростей движения появилась новая категория опасного состояния водителя – монотония – психическое состояние, вызванное [5, 7]:

- информационными перегрузками (многократным повторением одних и тех же движений и поступлением большого количества одинаковых сигналов в одни и те же нервные центры),

- информационной недостаточностью (однообразием восприятия, когда организм находится в условиях мало изменяющейся среды, например, при длительном пребывании за рулем на протяженных прямых участках ровной дороги в условиях однообразной местности).

Утомляемость оказывает решающее влияние на способность водителя правильно, быстро и безопасно ориентироваться в дорожной обстановке. Снижение работоспособности вследствие утомления не является чисто физиологическим явлением. Как показали многочисленные исследования, важная роль в процессах утомления принадлежит психологическим факторам, напряжению нервной системы человека.

Главные факторы, вызывающие утомление водителей и другие отклонения во время работы, следующие:

- продолжительность непрерывного вождения автомобиля;
- психофизиологическое состояние водителя перед выездом в рейс или выходом в смену;
- вождение автомобиля в ночное время;
- монотонность и однообразие вождения;
- условия труда на рабочем месте водителя.

Доказано, что после 8 ч работы увеличивается относительное количество ДТП и несчастных случаев, причем сначала, до 10 ч, незначительно, а затем с 11 ч оно становится особенно интенсивным. На первом часу работы по вине водителей допускается около 12% ДТП, а после 8 часов работы - около 26% [5, 7, 10, 11].

Вероятностная модель функциональной надежности системы ВАДС. Основной характеристикой системы ВАДС является ее надежность. Надежность транспортного средства – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технологического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки. Надежность является комплексным свойством, сочетающим безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость транспортного средства. Надежность системы ВАДС – комплексная характеристика, включающая не только надежность транспортного средства (например, автомобиля), но также надежность водителя и надежность автомобильной дороги как инфраструктурной системы. Если надежность водителя – способность действовать в соответствии с определенными требованиями профессии как в обычных (штатных), так и в критических ситуациях в течение заданного промежутка времени, то надежность автомобильной дороги – это способность дороги как комплексного транспортного сооружения (дорожные одежды, земляное полотно, мосты) обеспечивать безопасное расчетное движение транспортного потока со средней скоростью, близкой к оптимальной, в течение нормативного или заданного срока службы дороги при достаточных значениях других показателей.

Кроме того, на надежность системы ВАДС в различной степени оказывают влияние компоненты транспортной инфраструктуры как совокупности сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для поддержания деятельности всех видов транспорта. Если транспортная инфраструктура позволяет осуществлять транспортные перевозки между пунктами отправления и назначения, легко перемещаясь с одного вида транспорта на другой в соответствии с требованиями грузоотправителя, такая транспортная инфраструктура становится мультимодальной и позволяет осуществлять диверсифицированные и комбинированные перевозки.

Система ВАДС – это сложная динамическая система взаимодействия множества компонентов, вносящих свой вклад в управляемость транспортного средства, безопасность передвижения и риски возникновения ДТП. В этой связи разработан комплекс вероятностных моделей функциональной надежности системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» на основе многофакторного анализа состояния ее компонентов. Методологической основой исследования является концепция «совмещенной деятельности водителя», методика психофизиологического анализа причин ДТП, психофизиологическая классификация причин ДТП, концепция потенциала надежности водителя, а также базовые положения теории деятельности (А.Н. Леонтьев), теории функциональных систем (П.К. Анохин, К.В. Судаков). Совмещенная деятельность – это совокупность частных деятельностей, имеющих разные предметы, но направленных на достижение общей конечной цели [12–15].

В рамках концепции «совмещенной деятельности водителя» [13] разработана психофизиологическая методика анализа причин ДТП и их классификация. При этом выделены четыре основные группы ДТП в зависимости от их психофизиологических причин:

– ДТП, обусловленные особенностями потребностно-мотивационной и эмоционально-волевой сфер личности водителя при управлении транспортным средством, обзоре и ориентации в окружающей обстановке, навигации, взаимодействии с другими транспортными средствами, водителями и пешеходами;

– ДТП, обусловленные низкой профессиональной готовностью водителя;

– ДТП, связанные с пониженной профессиональной работоспособностью водителя (снижение работоспособности и эффективности деятельности – различная степень утомления, влияние стрессовых факторов и т. п.; полная дезорганизация профессиональной деятельности – сон, болезнь);

– ДТП, обусловленные недостаточным уровнем развития профессионально важных качеств водителя (плохая концентрация и переключаемость внимания, слабая зрительная память, сниженная зрительно-моторная координация, недостаточное оперативное мышление, нервно-психическая неустойчивость, склонность к риску, агрессивному, аддиктивному или девиантному поведению и др.).

В большинстве развитых стран соответствующими организациями и учреждениями проводится анализ ДТП и определяется причина или причины, которые их вызвали. Естественно, что в разных странах и в разных регионах одной и той же страны дорожные, климатические и иные условия функционирования системы ВАДС существенно различаются, но имеются определенные общие закономерности. Можно считать установленным, что наименее надежным элементом системы ВАДС является человек.

На рисунке 1 представлена схема, соответствующая современным представлениям о структурно-функциональной организации системы ВАДС.

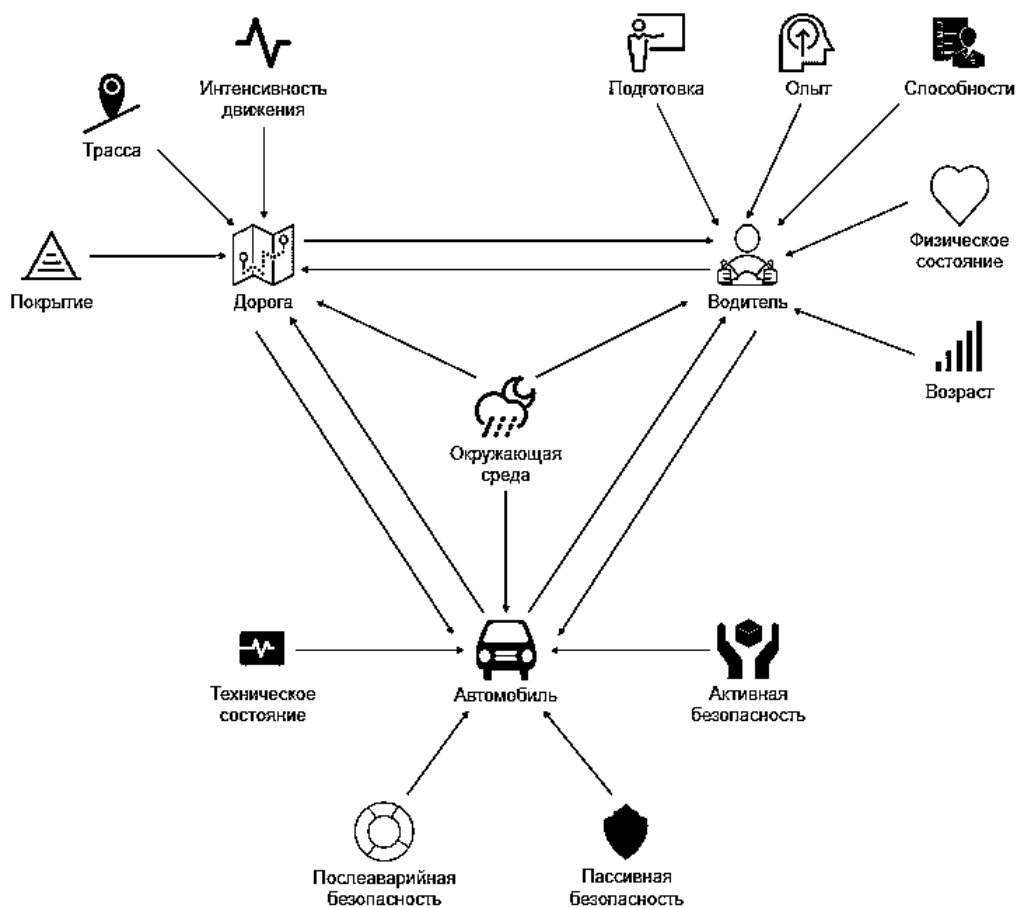


Рисунок 1. –Схема системы «водитель–автомобиль–дорога–среда»

Функциональная надежность ВАДС обусловлена как индивидуальным вкладом каждого компонента, так и различных вариантов сочетаний групп компонентов.

Следовательно, вождение, несмотря на свою внешнюю целостность (слитность), состоит из отдельных фрагментов (квантов), принадлежащих разным частным деятельности, что обуславливает ее выраженный совмещенный характер.

Каждый компонент системы ВАДС характеризуется возможностью перехода в несколько различных равнозначных состояний. Тогда каждый из компонентов системы – водитель, автомобиль, дорога, среда – может быть описан как источник потока энтропии, оказывающий влияние на другие компоненты системы ВАДС с помощью системы линейных дифференциальных уравнений (1–11).

Для транспортного средства:

$$\frac{dH_A}{dt} = a_0 + a_1H_B + a_2H_D + a_3H_C - (a_4 + a_5)H_A, \quad (2)$$

для водителя:

$$\frac{dH_B}{dt} = b_0 + b_1H_A + b_2H_D + b_3H_C - (b_4 + b_5)H_B, \quad (3)$$

для дороги:

$$\frac{dH_D}{dt} = c_0 + c_1H_A + c_2H_B + c_3H_C - (c_4 + c_5)H_D, \quad (4)$$

для среды:

$$\frac{dH_C}{dt} = g_0 + g_1H_A + g_2H_B + g_3H_D - (g_4 + g_5)H_C. \quad (5)$$

Где энтропия любого компоненты системы ВАДС может быть описана формулой энтропии по К. Шеннону:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (6)$$

p_i – вероятность i -го состояния водителя, автомобиля, дороги или среды.

При этом функциональная надежность ВАДС может быть обусловлена как индивидуальным вкладом каждого компонента, так и различных вариантов сочетаний групп компонентов:

$$P_{\text{ВАДС}} = \sum_{k=1}^n \left(\alpha_B P_B + \alpha_A P_A + \alpha_D P_D + \alpha_C P_C + \alpha_{AB} P_{AB} + \alpha_{AD} P_{AD} + \alpha_{AC} P_{AC} + \alpha_{BD} P_{BD} + \alpha_{VD} P_{VD} + \alpha_{DC} P_{DC} + \alpha_{ABD} P_{ABD} + \alpha_{ADC} P_{ADC} + \alpha_{ABC} P_{ABC} + \alpha_{VDC} P_{VDC} + \alpha_{AVDC} P_{AVDC} \right) \quad (7)$$

где P_B – функциональная надежность водителя;

P_A – техническая надежность автомобиля;

P_D – техническая надежность дороги;

P_C – вероятность влияния среды на надежность системы ВАДС;

$\alpha_B, \alpha_A, \alpha_D, \alpha_C$ и др. – удельно-весовые показатели надежности P_B, P_A, P_D, P_C , а также их произведений в различных сочетаниях, характерные для водителя, автомобиля, дороги и среды.

При этом функциональную надежность водителя целесообразно рассматривать как сумму вероятностей профессиональной подготовки ($P_{\text{ПП}}$), опыта профессиональной

деятельности ($P_{\text{ОПД}}$), профессионально важных качеств ($P_{\text{ПВК}}$), состояния физического здоровья ($P_{\text{СФЗ}}$), биологического возраста ($P_{\text{БВ}}$):

$$P_B = 1 - (1 - P_{\text{ПП}})(1 - P_{\text{ОПД}})(1 - P_{\text{ПВК}})(1 - P_{\text{СФЗ}})(1 - P_{\text{БВ}}). \quad (8)$$

Техническую надежность автомобиля целесообразно рассматривать как сумму вероятностей удовлетворительного технического состояния ($P_{\text{ТС}}$), системы активной безопасности ($P_{\text{САБ}}$), системы пассивной безопасности ($P_{\text{СПБ}}$), послеаварийной безопасности ($P_{\text{ПАБ}}$):

$$P_A = 1 - (1 - P_{\text{ТС}})(1 - P_{\text{САБ}})(1 - P_{\text{СПБ}})(1 - P_{\text{ПАБ}}). \quad (9)$$

Техническую надежность дороги целесообразно рассматривать как сумму вероятностного влияния на надежность ВАДС интенсивности движения на трассе ($P_{\text{ИДТ}}$), технического состояния трассы ($P_{\text{ТСТ}}$), состояния покрытия трассы ($P_{\text{СПТ}}$):

$$P_D = 1 - (1 - P_{\text{ИДТ}})(1 - P_{\text{ТСТ}})(1 - P_{\text{СПТ}}). \quad (10)$$

Вероятностное влияние факторов среды на надежность системы ВАДС может быть рассмотрено как сумма вероятностей благоприятного влияния времени суток ($P_{\text{ВС}}$), климатических факторов ($P_{\text{КФ}}$), влияния сезонных факторов ($P_{\text{ВСФ}}$):

$$P_V = 1 - (1 - P_{\text{ВС}})(1 - P_{\text{КФ}})(1 - P_{\text{ВСФ}}). \quad (11)$$

Таким образом, предложен комплекс критериев оценки надежности системы «ВАДС» в условиях совмещенной деятельности, включающий уровень профессиональной подготовки, опыта профессиональной деятельности, профессионально важных качеств, состояния физического здоровья, биологического возраста, удовлетворительного технического состояния, системы активной безопасности, системы пассивной безопасности, послеаварийной безопасности, интенсивности движения на трассе, технического состояния трассы, состояния покрытия трассы, влияния времени суток, климатических факторов, влияния сезонных факторов [13, 14].

Анализ и моделирование структурно-функциональной организации системы ВАДС на основе социотехнических схем. С позиций социотехнического подхода структурно-функциональная организация системы ВАДС включает внешнюю, внутреннюю и барьерную среду. При этом необходимо отметить, что внутренняя среда всегда содержит главный компонент системы ВАДС, который играет ведущую роль в функционировании и обеспечении надежности всей системы в целом. Кроме того, внутренняя среда включает ряд компонентов системы ВАДС, играющих подчиненную, второстепенную роль и зависящих от главного компонента. В свою очередь, внешняя среда содержит трудно формализуемые и слабо управляемые компоненты, оказывающие, вместе с тем, значительное влияние на состояние и функционирование компонентов внутренней среды системы ВАДС. Наряду с этим, в структурно-функциональной организации системы ВАДС целесообразно выделить барьерную среду, выполняющую роль буфера или медиатора в реализации воздействий компонентов внешней среды на компоненты внутренней среды системы. Барьерная среда также необходима для осуществления управления компонентами, факторами и условиями внешней среды со стороны внутренней среды системы ВАДС.

На этой основе разработаны и исследованы восемь социотехнических схем различных возможных вариантов структурно-функциональной системы ВАДС и ее отдельных

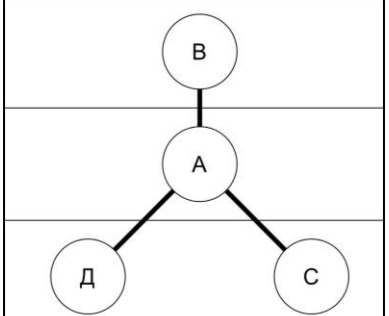
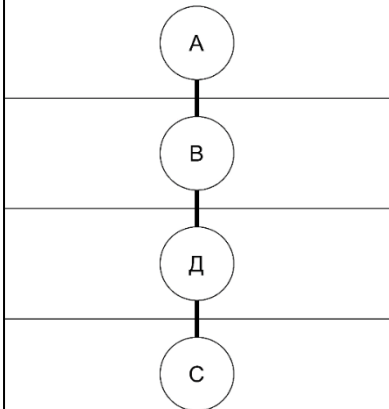
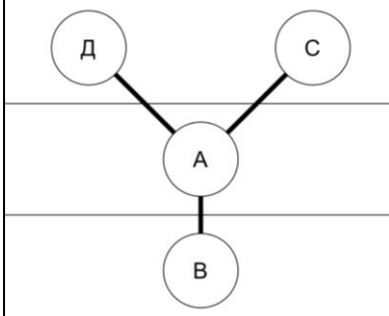
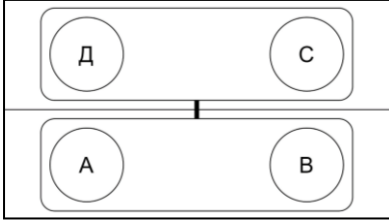
компонентов. Каждая схема имеет три уровня: верхний – внутренняя среда системы ВАДС, средний – ее барьерная среда, нижний – ее внешняя среда. Очевидно, что компоненты системы ВАДС, находящиеся на различных уровнях социотехнической схемы. При этом социотехническая схема читается слева направо, сверху вниз и по часовой стрелке. В таблице 2 представлены социотехнические схемы и стохастические модели структурно-функциональной организации системы ВАДС. В отдельных случаях в таблице представлены социотехнические схемы, включающие только внутреннюю и внешнюю среду без барьерной среды системы ВАДС (схемы 6–8). На социотехнической схеме 4 представлены четыре уровня структурно-функциональной организации системы ВАДС, где второй и третий уровни сверху вниз иллюстрируют микро- и макроуровни барьерной среды.

Принимая во внимание динамичный характер функционирования системы ВАДС в реальных условиях дорожного движения, в частности, в условиях современных мегаполисов и дорожных инфраструктур, обеспечение надежности и управления безопасностью ВАДС требует мониторинга и обработки мультипараметрических данных о состоянии различных компонентов системы в реальном масштабе времени. Техническое решение подобной задачи возможно только на основе информационных технологий Big Data. Используемые в настоящее время информационные системы контроля дорожного трафика используют визуальные системы видеомониторинга, дорожные сенсоры, системы спутникового позиционирования, интерактивные сервисы взаимодействия с пользователями и метеорологические системы. Среди них наиболее распространены такие, как система «Вокорд-трафик» (Россия), «Flir traffic» (Швеция) и Poliscan (Германия). Такие системы используются для оптимизации трафика дорожного движения, слежения за транспортными средствами и анализа ситуаций на дороге.

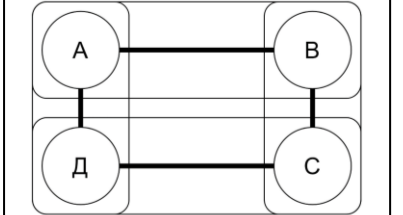
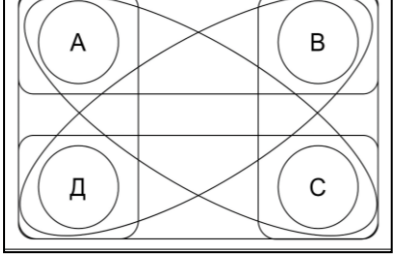
Таблица 2. –Социотехнические схемы и формальные стохастические модели структурно-функциональной организации системы ВАДС

№ п/п	Схема структурно-функциональная организация	Формальная стохастическая модель
1		$* P_{\text{ВАДС}} = 1 - (1 - P_B^{\omega B} P_A^{\omega A}) \cdot (1 - P_B^{\omega B} P_D^{\omega D}) \cdot (1 - P_B^{\omega B} P_C^{\omega C}) \quad (12)$ <p>Примечание: (*) – где ω_i – средневзвешенный показатель экспертной оценки компонента системы ВАДС</p>
Социотехническая схема «Пирамида»		
2		$P_{\text{ВАДС}} = P_A^{\omega A} \cdot (1 - (1 - P_B^{\omega B} P_D^{\omega D}) \cdot (1 - P_B^{\omega B} P_C^{\omega C})) \quad (13)$
Социотехническая схема «Звезда «АВДС»»		

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Схема структурно-функциональная организация	Формальная стохастическая модель
3		$P_{\text{ВАДС}} = P_B^{\omega B} \cdot (1 - (1 - P_A^{\omega A} P_D^{\omega D}) \cdot (1 - P_A^{\omega A} P_C^{\omega C})) \quad (14)$
Социотехническая схема «Звезда «ВАДС»»		
4		$P_{\text{ВАДС}} = P_A^{\omega A} \cdot P_B^{\omega B} \cdot P_D^{\omega D} \cdot P_C^{\omega C} \quad (15)$
Социотехническая схема «Цепь «АВДС»»		
5		$P_{\text{ВАДС}} = (1 - (1 - P_D^{\omega D} P_A^{\omega A}) \cdot (1 - P_C^{\omega C} P_C^{\omega C})) \cdot P_B^{\omega B} \quad (16)$
Социотехническая схема «Звезда «ДСАВ»»		
6		$\begin{aligned} ** P_{\text{ВАДС}} = & W_1 (1 - (1 - P_D^{\omega D})(1 - P_C^{\omega C})) \cdot \\ & \cdot (1 - (1 - P_A^{\omega A})(1 - P_B^{\omega B})) + \\ & + W_2 ((1 - P_A^{\omega A} P_B^{\omega B}) \cdot (1 - P_A^{\omega A} P_B^{\omega B})) \end{aligned} \quad (17)$ <p>Примечание: (**) – W_i – средневзвешенный показатель итогового показателя каждой конфигурации схемы структурно-функциональной организации системы ВАДС</p>
Социотехническая схема «Сэндвич»		

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Схема структурно-функциональная организация	Формальная стохастическая модель
7		$P_{\text{ВАДС}} = W_1 \cdot \left(1 - (1 - P_B^{\omega B} P_A^{\omega A}) \cdot (1 - P_B^{\omega B} P_D^{\omega D}) \right) + W_2 \cdot \left((1 - P_B^{\omega B} P_C^{\omega C}) \cdot (1 - P_A^{\omega A} P_D^{\omega D}) \right) \quad (18)$
Социотехническая схема «Кольцо»		
8		$P_{\text{ВАДС}} = W_1 \cdot \left(1 - (1 - P_B^{\omega B} P_A^{\omega A}) \cdot (1 - P_B^{\omega B} P_D^{\omega D}) \right) + W_2 \cdot \left((1 - P_B^{\omega B} P_C^{\omega C}) (1 - P_A^{\omega A} P_D^{\omega D}) \right) + W_3 \cdot \left(1 - (1 - P_A^{\omega A} P_C^{\omega C}) (1 - P_B^{\omega B} P_D^{\omega D}) \right) \quad (19)$
Социотехническая схема «Крест в кольце»		

Современное оснащение дорожных инфраструктур позволяет задействовать системы анализа дорожного трафика вблизи крупных городов и на крупных автомагистралях первостепенного значения. Такие системы способствуют обеспечению контроля безопасности и мониторинга дорожного движения путем оптимизации трафика на участках дорог с повышенным риском ДТП в условиях умеренной плотности транспортного потока и интенсивности дорожного движения, позволяют оперативно реагировать на экстренные ситуации. Это снижает риск ДТП, обеспечивает обнаружение правонарушителей, которые также могут спровоцировать аварийные ситуации, способствует их быстрой поимке, ограничивает движение большегрузного транспорта, уменьшая износ дорожного полотна, позволяет проанализировать опасные участки дороги с наибольшим количеством ДТП и принять соответствующие меры по модернизации этих участков. Существенный вклад в безопасность дорожного движения могла бы внести интеллектуальная система мониторинга и анализа дорожно-транспортных ситуаций, которая позволяла бы не только прогнозировать риски развития ДТП и обеспечивать своевременное реагирование службы безопасности дорожного движения, экстренной медицинской помощи и аварийно-спасательных служб, выполняя таким образом прогностическую функцию, но и выполнять упреждающую функцию, т.е. предупреждать опасные ситуации на дороге, анализируя параметрические характеристики каждого участника движения [9, 16, 17].

В перспективе, используя нейросетевой аппарат, возможно создание нейросетевой информационно-аналитической системы (НИАС) прогнозирования и предупреждения рисков ДТП. Комплекс взаимосвязанных стохастических моделей, моделей «сетей доверия», байесовских алгоритмов, а также искусственных нейронных сетей, является основой для аппаратно-программной реализации такой системы. При этом основные направления развития НИАС включают:

- анализ разработки и применения систем автоматизированного контроля дорожного трафика и безопасности дорожного движения;
- анализ критериев и методов оценки рисков дорожно-транспортных происшествий;
- анализ технических решений получения информации о дорожно-транспортной обстановке;

- изучение программных способов реализации методов оценки и прогнозирования ситуаций дорожно-транспортных инцидентов;
- изучение математического моделирования ситуаций дорожно-транспортных происшествий с учетом человеческого фактора;
- разработка программных алгоритмов прогнозирования рисков дорожно-транспортных происшествий;
- выбор и обоснование метода обучения искусственной нейронной сети;
- обучение искусственной нейронной сети;
- разработка методики прогнозирования рисков ДТП на основе искусственной нейронной сети;
- разработка архитектуры информационной системы превентивного управления рисками дорожно-транспортных происшествий;
- изучение результатов апробации информационной системы превентивного управления рисками дорожно-транспортных происшествий.

В свою очередь, НИАС может быть интегрирована с другими информационными системами мониторинга и контроля транспортного потока, дорожно-транспортной обстановки и технического состояния автомобиля. Важнейшими параметрами, учитываемыми НИС, являются состояние водителя, технического состояния транспортного средства, инфраструктурных элементов дороги, удельная интенсивность транспортного потока, погодные-климатические факторы [17].

Заключение. На основе социотехнического подхода разработаны восемь базовых социотехнических схем для системного анализа и моделирования структурно-функциональной организации системы ВАДС. С помощью предложенных социотехнических схем разработаны стохастические модели надежности системы ВАДС, которые могут быть базовыми для формирования и исследования различных сценариев ее функционирования. Подобные стохастические модели и сценарии функционирования системы ВАДС могут составить основу для обучения нейросетевых информационно-аналитических интеллектуальных технологий управления транспортными потоками и интермодальными терминалами, связывающих несколько видов транспорта и позволяющий осуществлять комбинированные транспортировки, а также интегрированных транспортных систем, осуществляющих мультимодальные перевозки в протяженных транспортных логистических цепях. Нейросетевые информационно-аналитические интеллектуальные технологии могут осуществлять управление как отдельными системами ВАДС, так и глобальными транспортными потоками посредством доступа к различным специализированным базам данных через облачные сервисы.

В связи с тем, что важную роль в формировании рисков ДТП играет комплекс индивидуальных профессионально важных психофизиологических характеристик водителя, является целесообразным разработка электронного «индивидуального риск-паспорта водителя» на основе нейросетевых информационно-аналитических интеллектуальных технологий, технологий Big Data и облачных сервисов. «Индивидуальный риск-паспорт водителя» может быть использован в качестве идентификационного документа, наравне с водительскими правами или гражданским паспортом.

Таким образом, НИАС, включающая как мобильные, так и стационарные элементы, а также облачные сервисы позволит осуществлять анализ множества взаимосвязанных дорожно-транспортных ситуаций, обусловленных стечением многих факторов и обстоятельств, с учетом особенностей сезона, погодных-климатических условий, времени суток, а также человеческого фактора. Наличие доступа к облачным базам данных обеспечит сохранение и возможность оперативного использования информационных образов этих дорожно-транспортных ситуаций в режиме реального времени для оценки и превентивного управления риском ДТП. Проектирование, аппаратно-программная реализация и

развертывание данной НИАС может содействовать существенному снижению уровня ДТП и дорожно-транспортного травматизма в Республике Беларусь.

Список литературы

- [1.] Дорогах гибнут молодые и бедные. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.gazeta.ru/auto/2015/10/19_a_7830845.shtml. – Дата доступа : 12.04.2020.
- [2.] О состоянии безопасности дорожного движения в мире 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1. – Дата доступа : 12.04.2020.
- [3.] WHO report highlights insufficient progress to tackle lack of safety on the world's roads. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.who.int/news-room/detail/07-12-2018-new-who-report-highlights-insufficient-progress-to-tackle-lack-of-safety-on-the-world's-roads>. – Дата доступа : 12.04.2020.
- [4.] Безопасности дорожного движения во всем мире. Записка Генерального секретаря. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp1/UNSG_Report_72-359_ru.pdf. – Дата доступа: 12.04.2020.
- [5] А. Н. Автотранспортная психология / А.Н. Романов. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 224 с.
- [6] По безопасности дорожного движения / Р. Эльвик, А.Б. Мюсен, М. Во; пер. [с норв.] под ред. В.В. Сильянова. – М. : Изд-во МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
- [7] И. Н. Дорожная и психофизиологическая экспертизы дорожно-транспортных происшествий : учеб. пособие / И.Н. Пугачёв, П.А. Пегин. – Хабаровск, 2008. – 106 с.
- [8.] И инструменты для повышения безопасности дорожного движения на дорогах общего пользования Международный опыт Principles and Instruments for Improving Traffic Safety on Rural Roads The International Experience. – 2008. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ador.ru/data/files/static/bdd_01.pdf. – Дата доступа : 22.12.2019.
- [9.] Нормативных правовых материалов по обеспечению безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте. – М. : Трансконсалтинг, 2005. – Вып. 12. – 480 с.
- [10] И. Н. Организация и безопасность дорожного движения : учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
- [11] В. Н. Прогнозирование опасности дорожных ситуаций / В.Н. Иванов. – М. : Астрель АСТ, 2005. – 208 с.
- [12] Г. В. Оценка влияния наружной рекламы на факторы регуляции психофизиологического состояния водителей: параметры и типы в пределах нормативного психофизиологического статуса / Г.В. Кипор, Е.В. Козлов, В.В. Бессонов, С.Н. Зайцева // Медицина катастроф. – 2012. – N 2. – С. 31–35.
- [13] Е. В. Совмещенная деятельность водителя: результаты психофизиологического анализа / Е.В. Козлов // Человек в экстремальных условиях: клиничко-физиологические, психологические и санитарно-эпидемиологические проблемы профессиональной деятельности : материалы 7-го международного научно-практического конгресса, Москва, 25 – 28 октября 2010 г. – С. 227 – 229.
- [14] Г. В. Подходы к обоснованию применения компьютерной инструментальной психофизиологии в целях тестирования лиц опасных профессий / Г.В. Кипор, Е.В. Козлов, В.В. Бессонов, С.А. Зайцева // Медицина катастроф. – 2012. – N 1. – С. 35 – 37.
- [15] Е. В. Психофизиологические причины ДТП – каковы они? / Е.В. Козлов // Автошкола. – 2011. – N11. – С. 18 – 21.
- [16] А. Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами : учеб. пособие / А.Э. Горев. – СПб. : Изд-во СПбГАСУ, 2004. – 193 с.
- [17] В. Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении : учеб. пособие / В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов, В.И. Коноплянко. – Ростов н/Д : Изд-во ГСУ, 2001. – 108 с.

SYSTEM ANALYSIS OF THE «DRIVER-CAR-ROAD-ENVIRONMENT» RELIABILITY BASED ON A SOCIOTECHNICAL APPROACH AS A BIG DATA PROBLEM

A.M. Linnik

*student of the Department of Engineering
Psychology and Ergonomics of the BSUIR,*

A.G. Davydovsky

*Associate Professor, Department of
Engineering Psychology and Ergonomics
of the BSUIR*

Abstract. The article is devoted to the system analysis of ensuring the reliability of the «driver-car-road-environment» system based on the sociotechnical approach based using Big Data technologies. Based on the sociotechnical approach, eight basic sociotechnical schemes have been developed for system analysis and modeling of the structural and functional organization of the driver-car-road-environment system. Have been developed the formal stochastic models of reliability of the «driver-car-road-environment» system for proposed sociotechnical schemes. Similar stochastic models and scenarios for the operation of the driver-car-road-environment system. they can form the basis for training neural network information and analytical intelligent technologies in the management of transport flows and intermodal terminals and integrated transport systems. The expediency of developing an electronic «individual driver's risk passport» based on neural network information and analytical intelligent technologies, Big Data technologies and cloud services is proved.

Keywords: the «driver-vehicle-road-environment» system, reliability, system analysis, stochastic models, sociotechnical approach, road accidents.