

БОРТОВАЯ СИСТЕМА УЧЕТА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА И ВЫБОРА СКОРОСТНОГО РЕЖИМА АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Представлена организация и архитектура бортовой системы контроля и управления скоростным режимом автотранспортного средства на основе оперативной оценки состояния дорожного полотна, а также ее вариант – прототип системы.

Ключевые слова: бортовая система контроля и управления, скоростной режим, распознавание дорожного полотна, компьютерная поддержка.

На безопасность дорожного движения существенное влияние оказывают характеристики дорожного полотна (ДП). Неадекватная оценка водителем характеристик соответствующей категории ДП вызывает увеличение риска аварийной ситуации, рост интенсивности износа автомобилей и повышение расхода горюче-смазочных материалов [1, 3]. Одним из основных факторов, снижающих риск аварийной ситуации, является оптимальный выбор и соблюдение безопасных скоростных режимов транспортных средств. Особую актуальность эта задача имеет для Оренбургского региона, где риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП), по данным Правительства Оренбургской области, составляет 0,42.

На рисунке 1 для иллюстрации к постановке задачи представлена карта автомобильных дорог северо-восточной части Оренбургской области.

Как видно из рисунка, автомобильные дороги представляют собой сложную сеть транспортных коммуникаций, протянутых на местности со сложным постоянно меняющимся рельефом, с различными техническими, экономическими и эксплуатационными характеристиками, зависящими от погодных условий, времени года, параметров транспортных средств и перевозимых грузов. Жирной линией на рисунке выделены два из основных маршрутов, соединяющих Оренбургскую область с Республикой Башкортостан, в частности маршруты, соединяющие город Оренбург с основной автотрассой южной части Башкирии Уфа – Исянгулово. Кружочками на маршрутах отмечены исходные и конечные пункты и границы участков дорог с различными категориями качества. Данные маршруты расположены на территории двух граничных регионов России, наиболее полно характеризуют специфику автомобильных дорог южной части Урала, содержат необходимый для исследо-

ваний спектр категорий дорожного полотна и являются своеобразным исследовательским полигоном для решения рассматриваемой задачи. Характерной особенностью представленных маршрутов является высокая интенсивность смены категории Q и транспортно-эксплуатационного состояния S участков ДП. Выполненный Парето-анализ влияния состояния дорожно-транспортных объектов на риск ДТП в Оренбургской области позволил сделать следующий вывод: в 87,86% случаев ДТП произошли по вине водителей и из-за неудовлетворительного состояния дорог области. К основным видам нарушений со стороны водителей относятся: несоответствие скоростного режима АТС конкретным дорожным условиям и превышение скоростного режима АТС при установленных дорожных знаках, регламентирующих скоростной режим [3].

На современном этапе одним из основных принципов обеспечения безопасности дорожного движения является переход к интеллектуальным транспортным системам (ИТС). Стремление обеспечить безопасность всех участников дорожного движения привело к появлению множества ИТС, особое место среди них занимают бортовые системы контроля и управления (БСКУ) скоростным режимом АТС на основе оперативной оценки состояния ДП.

Анализ современных публикаций показал, что, несмотря на значительные достижения в области методологии построения систем обеспечения дорожной безопасности, существующие методы недостаточно полно и эффективно учитывают:

– высокую стоимость зарубежных средств измерения и обработки автодорожной информации (порядка 400 тысяч рублей) и возможность использования унифицированных штатных датчиков и устройств, имеющихся в АТС, для снижения стоимости всей системы;

– необходимость обеспечения водителей достоверной и оперативной информацией при выборе режимов эксплуатации автомобиля, когда установленные дорожные знаки, регламентирующие скоростной режим, не соответствуют изменению качества ДП (выбоины, гребенка) или сезонным условиям (гололед, дождь);

– возможность использования современных информационных технологий для заблаговременного получения автодорожной информации и выбора соответствующего режима эксплуатации АТС с использованием интеллектуальных датчиков и беспроводных сенсорных сетей.

Целью представленной работы является повышение активной безопасности АТС в процессе его эксплуатации на основе повышения достоверности и производительности

бортовых систем АТС при выборе скоростного режима (ВСР).

Эффективность БСКУ определяется повышением активной безопасности и улучшением режима эксплуатации АТС на основе повышения достоверности D и производительности H бортовой системы автомобиля. Принятие решения по ВСР сопряжено с соответствующими ошибками 1-го рода, приводящими к ДТП, и 2-го рода, приводящими к увеличению длительности поездки. Общий вид целевой функции при построении данных систем имеет следующий вид:

$$E = \lambda \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\{z_{ij} \times \alpha_{ij} - e_{ij} \times (1 - \alpha_{ij})\} \times (1 - P_{ij})) + \{z_{ij} \times \beta_{ij} - e_{ij} \times (1 - \beta_{ij})\} \times (1 - P_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$D \geq D_3, H \geq H_3, Z \leq Z_3$$

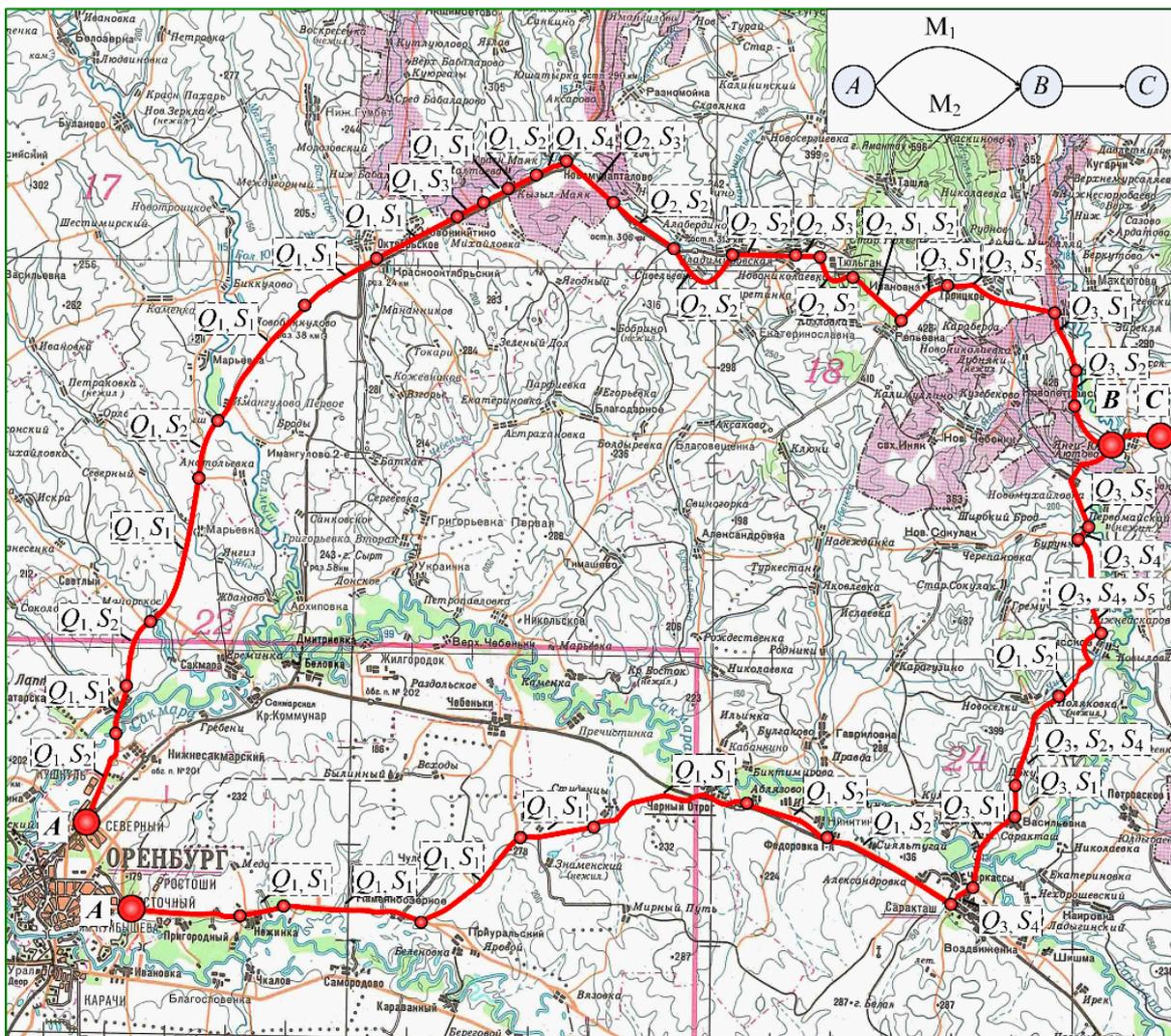


Рисунок 1. Схема автомобильных дорог северо-восточной части Оренбургской области

где n, m – количество категорий и уровней оценки транспортно-эксплуатационного состояния ДП; λ – интенсивность изменения категории и транспортно-эксплуатационного состояния ДП при движении АТС по исследуемому участку со скоростью v_c ; z_{ij} – социально-экономический эффект от ошибочного выбора скоростного режима АТС; e_{ij} – социально-экономический эффект от достоверного выбора скоростного режима АТС; α_{ij} – вероятность ошибки 1-го рода, приводящей к ДТП, например: неадекватная оценка состояния ДП при выборе скоростного режима АТС на i -й категории j -го транспортно-эксплуатационного состояния ДП; β_{ij} – вероятность ошибки 2-го рода при выборе скоростного режима АТС на i -й категории j -го транспортно-эксплуатационного состояния ДП; P_{ij} – вероятность того, что АТС движется по ДП i -ой категории j -го транспортно-эксплуатационного состояния; D и D_3 – фактическая и требуемая достоверность результата; H и H_3 – производительность БСКУ: фактическая и заданная; Z и Z_3 – затраты на средства БСКУ: фактические и заданные.

Значение вероятности P_{ij} определяется:

$$P_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_s}, \quad (2)$$

где λ_{ij} – интенсивность появления i -й категории j -го транспортно-эксплуатационного состояния ДП; λ_s – суммарная интенсивность изменения категории и состояния ДП при движении АТС по исследуемому участку со скоростью v_c .

Производительность (время реакции) БСКУ скоростным режимом АТС H зависит от ряда параметров:

$$H = f(Sl, Y, W, Q, r), \quad (3)$$

где Sl – вычислительная сложность целевой функции; Y – способ определения результата Sl ; W – вектор входных параметров БСКУ; Q – условие оптимизации; r – общее число учитываемых параметров.

Вычислительная сложность целевой функции рассчитывается по следующему выражению:

$$Sl = \sum_{i=1}^N r_i \times t_i + \sum_{j=1}^M a_j \times t_j, \quad (4)$$

где N, M – общее количество видов математических операций (сложение, разность, возведение в степень и т.д.) и аргументов, участвующих при расчете целевой функции; r_i – число i -го вида математической операции; t_i – необходимое число тактов вычислительной системы для получения результата расчета i -го вида математической операции и значения j -го вида аргумента из ОЗУ; a_j – число j -ого вида аргумента целевой функции.

Способ определения Y результата целевой функции должен быть основан на современных алгоритмических подходах, позволяющих повысить достоверность ВСП при заданной производительности вычислительного процесса. Эффект E определяется параметрами

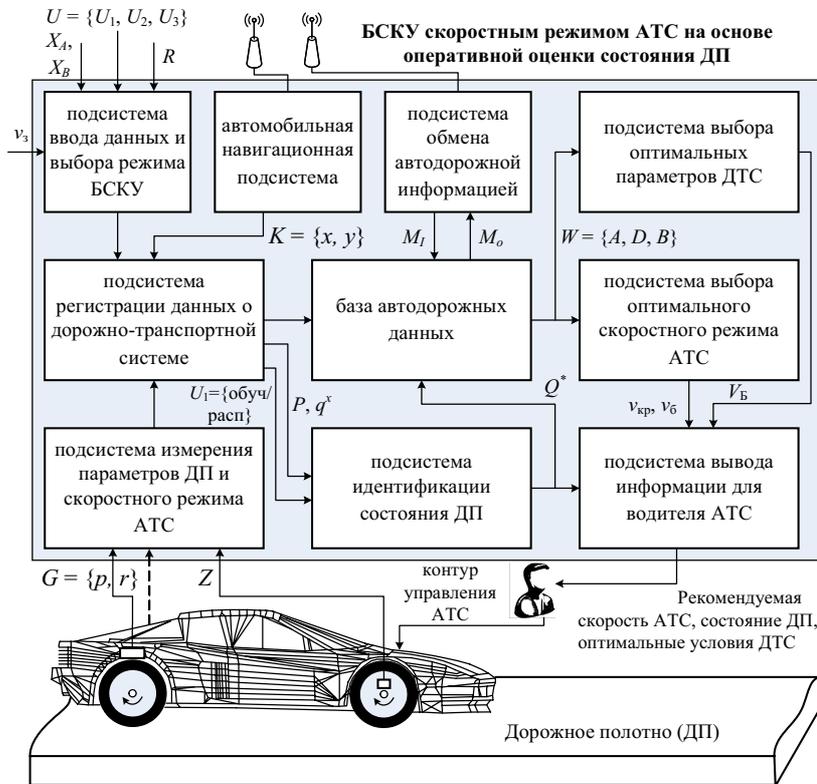


Рисунок 2. Структурная схема интегрированной модели БСКУ АТС

$e_{ij}, z_{ij}, \alpha_{ij}, \beta_{ij}, P_{ij}$. Оценка P_{ij} на некотором участке ДП является прогнозной и определяется по выражению (2). Из вышеизложенного следует, что основным критерием оценки качества БСКУ АТС является достоверность выбора безопасного скоростного режима АТС при заданных ограничениях по стоимостным затратам и производительности БСКУ.

Натурные исследования качества автомобильных дорог по маршруту Оренбург – Исянгулово по двум трассам, Р-314 и Р-336, позволили получить следующую информацию. Первый вариант характеризуется: наличием 30% участков ДП с неудовлетворительным состоянием; на 15% протяженности дороги отсутствуют дорожные знаки, предписывающие скоростной режим АТС; выявлено четыре особо опасных участка, на которых не указана предупреждающая информация для участников дорожного движения. Второй вариант характеризуется: наличием 55% участков ДП с отличным состоянием; на 10% протяженности дороги отсутствуют дорожные знаки, предписывающие скоростной режим АТС; выявлено два особо опасных участка, на которых не указана предупреждающая информация для участников дорожного движения. Анализ полученных результатов позволил сделать следующий вывод. В качестве источников информации о ДТО для БСКУ АТС должны быть учтены данные следующего типа:

- априорные, полученные в результате регистрации, сбора и обработки информации от передвижных дорожных лабораторий;
- апостериорные, полученные в результате обмена информацией между участниками дорожного движения и элементами дорожной инфраструктуры по беспроводным каналам связи при эксплуатации АТС;
- оперативные, полученные в результате регистрации, сбора и обработки данных от датчиков и приборов, расположенных в АТС.

Изучение современных публикаций по рассматриваемой тематике, проведенный комплекс работ по исследованию и анализу скоростных режимов АТС с учетом характеристик ДП позволили построить интегрированную модель БСКУ, структурная схема которой представлена на рисунке 2.

Входными данными для модели БСКУ являются: вектор значений сигналов Z от датчика скорости и торможения АТС; вектор продольных и поперечных уклонов $G = \{p, r\}$ от датчика угла наклона; координаты широты и долготы $K = \{x, y\}$ местоположения АТС; настроечные параметры БСКУ R , априорные характеристики АТС X_A и водителя X_B ; потоки автодорожной информации M_I по данным подсистемы обмена ZigBee; U – режим работы бортовой системы $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, где U_1 определяет режим работы подсистемы оценки состояния ДП; U_2 – режим

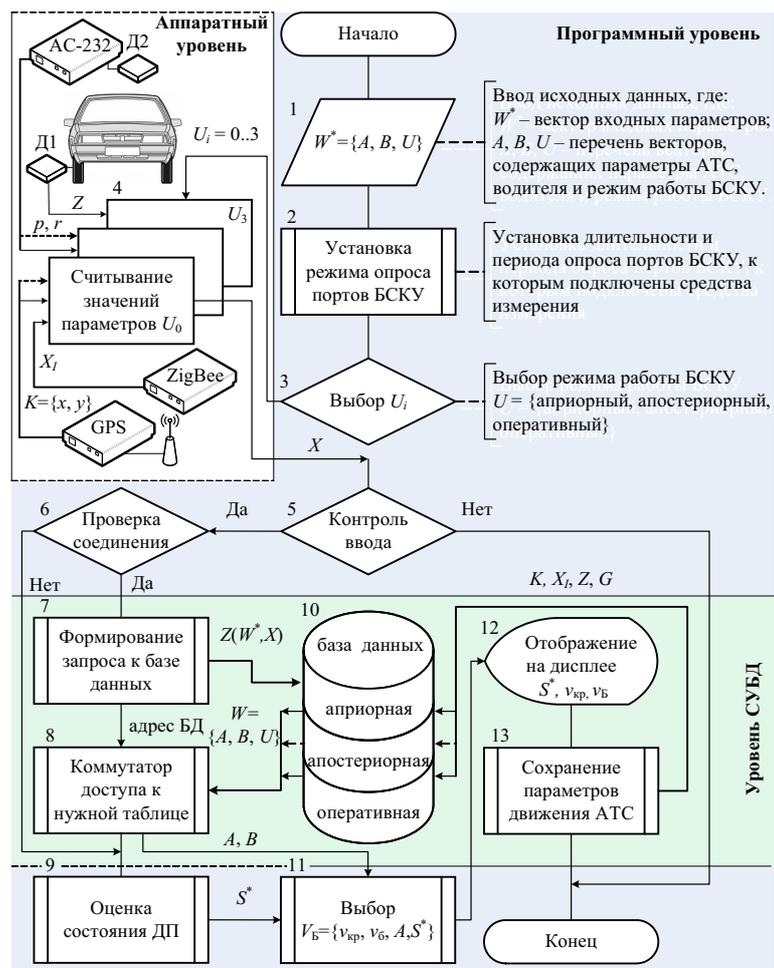


Рисунок 3. Схема алгоритма подсистемы выбора безопасного скоростного режима АТС

работы подсистемы выбора безопасного скоростного режима АТС; U_3 – режим работы подсистемы выбора оптимальных значений безопасного скоростного режима АТС. Выходными параметрами модели являются: рекомендуемая скорость движения АТС, сведения о ДП и рекомендуемые условия эксплуатации АТС (нагрузка, параметры ускорения при движении и некоторые другие).

Потоки измерительной информации определяются перечнем датчиков и режимами работы средств регистрации и обработки данных. Подсистема идентификации определяет транспортно-эксплуатационное состояние исследуемого участка ДП. Входными данными для данной подсистемы являются: вектор параметров регистрации $R = \{S, n, m\}$ множества значений информативных признаков S , количества категорий (образов) ДП n и признаков ДП m ; режим работы U_1 (обучение или распознавание).

На рисунке 3 представлена схема алгоритма подсистемы выбора безопасного скоростного режима АТС. Аппаратный уровень реализуется средствами измерения, регистрации и обработки данных БСКУ. В блоке 1 осуществляется ввод исходных данных и выбор необходимого режима работы, который определяется водителем в зависимости от актуальности информации, хранящейся в базе данных БСКУ (блок 10), и комплектации БСКУ средствами измерения и регистрации аппаратного уровня. В блоке 2 устанавливается длительность и период опроса портов БСКУ, к которым подключены средства измерения автодорожной информации. Отличительной особенностью алгоритма является наличие блоков 4 и 5, которые осуществляют измерение, регистрацию и обработку только тех значений параметров, которые необходимы для обеспечения выбранного пользователем режима работы БСКУ.

Например, при выборе водителем априорного режима используется только навигационная подсистема (GPS); при выборе апостериорного режима – подсистема обмена автодорожной информацией (ZigBee); в случае с оперативным режимом используется весь перечень средств измерения автодорожной информации БСКУ (датчики скорости и торможения АТС, продольного и поперечного наклона, средства GPS и ZigBee). В блоке 6 осуществляется контроль значений автодорожной информации, введенных пользователем и считываемых при опросе портов БСКУ. В блоке 7 осуществляется проверка соединения с БД, расположенной на стороне СУБД. Блок 8 осуществляет две функции: считывание информации с необходимой локальной БД в зависимости от выбранного пользователем режима работы и распределение полученных данных по соответствующим блокам 9 или 10. В блоке 9 осуществляется оценка состояния ДП на основе ассоциативно-мажоритарной модели распознавания образов.

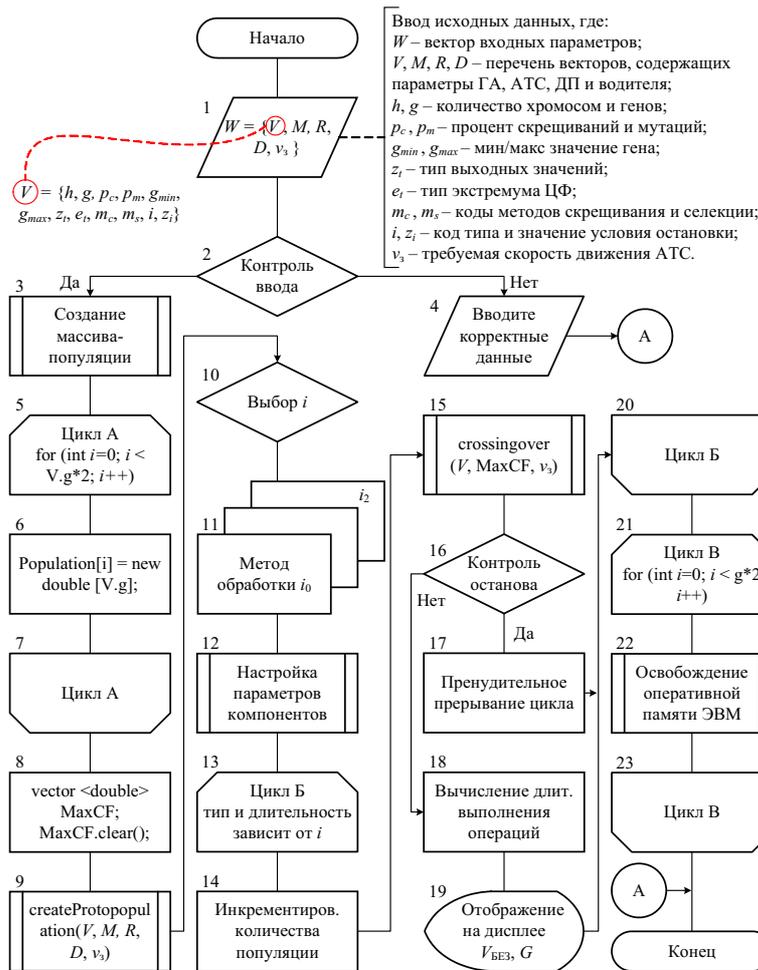


Рисунок 4. Схема алгоритма программы оптимизации скоростного режима в ДТС

Далее вектор S^* , содержащий характеристики образа ДП, поступает совместно с характеристиками конкретного АТС A и водителя B на вход блока 11 выбора безопасного скоростного режима АТС, которая представляет собой ЗУ ассоциативного типа. На выходе данного ЗУ формируются диапазоны значений критического $v_{кр}$ и безопасного v_0 скоростного режима АТС в режиме реального времени. Достоинством такой организации алгоритма выбора скоростного режима является отсутствие комбинационных схем для выполнения вычислительных операций, связанных с расчетом необходимых параметров и функциональных зависимостей для определения безопасного режима эксплуатации АТС.

На рисунке 4 представлена схема алгоритма программы оптимизации скоростного режима в дорожно-транспортной системе.

Алгоритм основан на принципах генетики, предусматривающих модификацию и обработку синтезированных векторов-поколений, содержащих значения ТЭП ДТО, и выбор оптимальных значений параметров исходя из условия обеспечения минимума рассогласования заданного и безопасного режимов эксплуатации АТС. При кодировании параметров ДТО, содержащихся в соответствующих векторах, использовалась фасетная система классификации с параллельным способом кодирования. Достоинствами фасетной системы являются технологичность в компьютерной обработке данных, компактность кодов и удобство работы [6].

В блоках 1, 2 осуществляется ввод исходных данных и контроль полученного вектора W . За счет операторов условия и схемы обработки исключений контроль ввода в блоке 2 обеспечивает надежность программного сред-

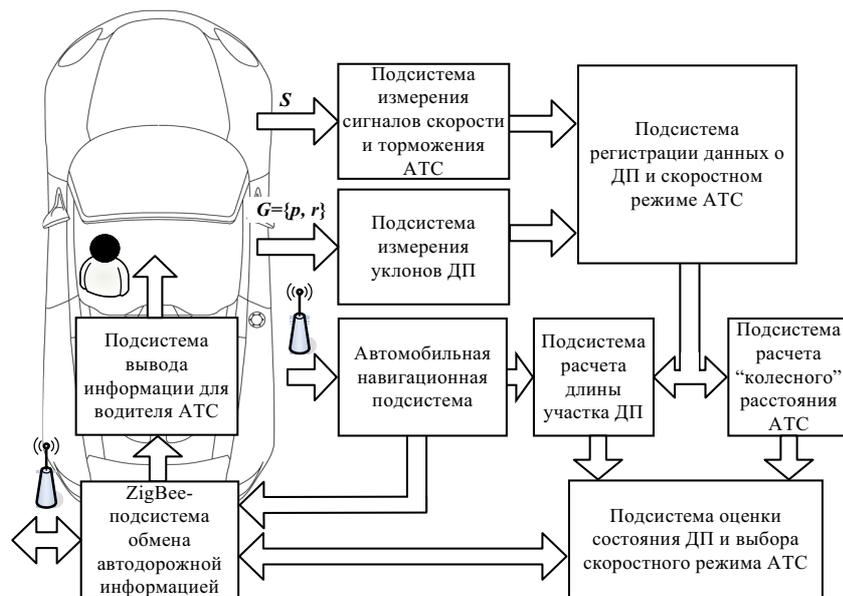


Рисунок 5. Структурная схема БСКУ АТС на основе оперативной оценки состояния ДП

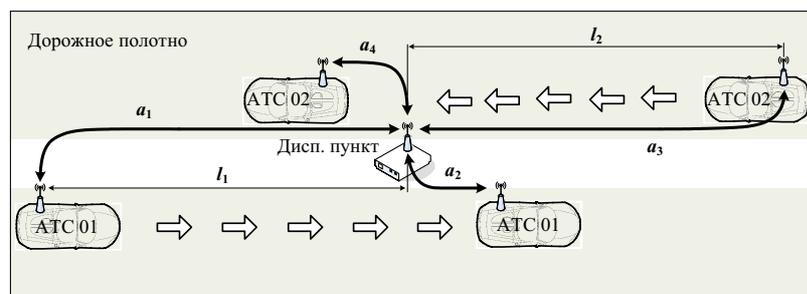


Рисунок 6. Топологическая схема обмена информацией между участниками дорожного движения по БССДП

ства. В случае некорректного ввода данных в блоке 4 осуществляется вывод соответствующего сообщения пользователю с выделением сектора экранной формы, где программа обнаружила ошибку. В блоках 3, 5, 6, 7 происходит инициализация динамического массива-популяции, объем которого равен произведению удвоенного количества хромосом на количество генов.

В блоке 8 производится инициализация вектора экстремума целевой функции, в блоке 9 – создание протопопуляции на основе заполнения популяции хромосомами с произвольными значениями генов, диапазон которых указан пользователем. Отличительной особенностью алгоритма является наличие блоков 10, 11, которые осуществляют выбор метода обработки массива-популяции с учетом выбранного пользователем условия остановки программы. В блоке 12 происходит дополнительная корректировка параметров

Таблица 1. Фрагмент параметров маршрута Оренбург – Исянгулово

№ П/П	Кол-во имп. датчика скорости	Кол-во имп. датчика тормоза	Длит. торм., мсек.	Широта (град, мин, сек)			Долгота (град, мин, сек)			Пройденный путь по GPS	Высота по GPS, м.	Угол наклона прод., град.	Угол наклона попер., град.	К-т буксования
				51	50	58,284	55	7	32,118					
1	0	1	1573	51	50	58,284	55	7	32,118	0	106,1	-0,06641	1,230469	0
2	3			51	50	58,284	55	7	32,118	0	106,1	-0,37109	1,507813	0
3	31			51	50	58,374	55	7	32,184	3,05500	105,9	7,621094	-0,14844	0,6669
4	94			51	50	58,626	55	7	32,412	8,92775	105,6	1,898438	1,230469	0,8662
5	173			51	50	58,98	55	7	32,688	12,1495	105,4	4,128906	1,09375	0,9400
6	274			51	50	59,436	55	7	33,054	15,7384	105,6	1,601563	0,539063	0,9524
7	382			51	50	59,934	55	7	33,45	17,1565	104,8	1,296875	1,230469	0,9710
8	505	1	8152	51	51	0,492	55	7	33,918	19,4334	104,7	3,09375	-75,9219	0,9657

визуальных компонентов под условия задачи. Длительность цикла в блоке 13 зависит от выбранного ранее метода обработки данных. В блоках 14, 15 выполняется инкрементирование количества популяции и процедура скрещивания «crossingover». Данная процедура выполняет инициализацию колонии и обработку созданного в блоках 3, 5, 6, 7 массива-популяции на основе ГА с целью нахождения оптимальных значений аргументов, при которых выполняется условие по выражению (5). Блок 18 предназначен для расчета длительности выполнения операций в блоках 13–20 и прекращения цикла «Б» с учетом критерия остановки программы. Блок 19 предназначен для отображения вектора V_B оптимальных значений аргументов безопасного режима эксплуатации АТС и графика значений G целевой функции по поколениям на экранной форме. В блоках 21–23 происходит процесс освобождения оперативной памяти компьютера от созданных ранее динамических массивов, используемых в ходе вычислительного эксперимента.

На рисунке 5 представлена структурная схема разработанного при участии автора прототипа БСКУ АТС [3]. Оценка состояния ДП и выбора безопасного скоростного режима осуществляется в автоматизированном режиме на основе соответствующих аналитических выражений и методик, представленных в известных работах [1, 2] и разработанных авторами алгоритмов и аппаратно-программных средств [3–5]. Использование автомобильной навигационной подсистемы позволяет осуществлять привязку дорожной информации к конкретному уча-

стку ДП и рассчитывать оценку коэффициента буксования по методике, предложенной в работе [2]. Аппаратная часть подсистемы измерения данных о ДП и АТС содержит: датчик скорости, датчики продольного и поперечного угла наклона ДУГ51-Р11, GPS-навигатор SIM18EVB KIT.

Датчики угла наклона устанавливались на задней оси и в кузове АТС, что позволило оценить углы наклона ДП, а также колебания кузова в зависимости от характеристик дороги и квалификации водителя. Регистрация скорости производилась непосредственно с выхода датчика скорости, что позволило оценивать «колесный» путь автомобиля с точностью до нескольких десятых долей метра. Вывод результатов о скоростном режиме и данных о ДП производился на монитор портативного компьютера. Программная часть БСКУ включает: программы сбора, регистрации и обработки данных от первичных измерительных преобразователей, обработки данных GPS-навигатора, вычисления оценок характеристик ДП и определения категории дороги, вычисления безопасной скорости движения АТС и обмена данными по беспроводному каналу связи. На рисунке 6 показано, как автомобили «АТС_01» и «АТС_02» обмениваются данными о состоянии ДП и скоростном режиме АТС для пройденных ими отрезков ДП.

Прототип БСКУ был апробирован в условиях, приближенных к реальным, на автомобиле ВАЗ-21140. Оценка характеристик ДП и организация автодорожного обмена выполнялась: на автодроме ГОУ ОГУ; на участке с 3 по 5 км загородного шоссе г. Оренбурга; на участке 795–816

км автомобильной трассы Оренбург – Орск; на участке автомобильной трассы Оренбург – Исянгулово. В таблице 1 представлен фрагмент таблицы параметров маршрута, который передается в реальном времени по БСС с использованием технологии ZigBee. Перечень параметров позволяет оценить следующие характеристики: скорость и ускорение АТС, координаты местоположения, моменты нажатия водителем на педали акселератора и тормоза, поперечные и продольные углы ДП, колебания кузова АТС в двух плоскостях при его движении. Обмен данными для обеспечения требуемой достоверности информации производится через диспетчерский пункт в зоне прямой видимости беспроводных средств ZigBee. Разработанная система обеспечивает стабильный обмен автодорожной информацией при прямой видимости в радиусе до 300 м при использовании ZigBee-модемов ETRX2-PA. Достигнутая экспериментально скорость передачи данных составила 400 бит/сек.

Апробация результатов исследований подтвердила возможность: повышения достоверности оценки состояния ДП на 5% в задаче выбора скоростного режима АТС при заданных ограничениях по стоимости и производительности системы; обеспечения водителей оперативной и достоверной автодорожной информацией для выбора безопасных режимов эксплуатации АТС за счет использования БСС; уменьшения стоимости БСКУ скоростным режимом АТС на 8% за счет разработанного аппаратно-программного обеспечения системы и использования унифицирован-

ных штатных датчиков и устройств, имеющихся в АТС; снижения риска аварийной ситуации, связанного с влиянием состояния ДП и АТС, на основе повышения информативности на 10 признаков, достоверности и скорости предоставляемых водителю данных за счет использования оригинальной БСКУ. Отличительной особенностью представленной БСКУ является использование в составе подсистемы оценки состояния ДП и выбора скоростного режима оригинальной модели, а также устройства автоматического распознавания состояния дороги и выбора безопасной скорости [3, 4], позволяющих повысить производительность вычислений параметров и сократить время на подготовку оперативной информации. Использование генетического алгоритма [5] в подсистеме БСКУ АТС позволило сократить длительность нахождения оптимальных значений параметров безопасного режима эксплуатации АТС по сравнению с известными алгоритмами, например по сравнению в рекурсивным (волновым) алгоритмом в – 3,45 раза.

Представленные результаты используются как учебный научно-практический материал при изучении дисциплин, связанных с построением специализированных распределенных высокопроизводительных систем, на кафедре вычислительной техники ОГУ и могут быть рекомендованы для применения при создании БСКУ АТС, а также при планировании безопасных скоростных режимов и выборе маршрутов АТС с учетом характеристик дорожного полотна.

10.09.2011

Список литературы:

1. Ходес, И.В. Система предупреждения водителя об опасности выбранного им режима движения / И.В. Ходес // Автомобильная промышленность. – 2010. №7. С. 26-29.
2. Методика оценки безопасности движения и транспортных качеств автомобильных дорог. – М.: «Высшая школа», 1971. – 86 с.
3. Хасанов, Р.И. Мобильная система мониторинга состояния дорожного полотна и скоростного режима автомобиля на основе беспроводных каналов связи / Р.И. Хасанов, Г.В. Закревский, Р.Р. Галимов, Т.З. Аралбаев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. №3. – С. 11–14.
4. Решение о выдаче патента на изобретение №2010116601/08 РФ, МПК Устройство распознавания образов / Р.И. Хасанов, М.З. Масыгутов, Т.З. Аралбаев; опубл. 08.04.2011.
5. Хасанов, Р.И. Оптимизация скоростного режима в дорожно-транспортной системе на основе генетического алгоритма: свидетельство о регистрации программы / Т.З. Аралбаев, Р.Ф. Калимуллин, Р.И. Хасанов, Т.М. Алпаров. – Оренбург: УФАП, 2011. – 30709 Кбайт.

Сведения об авторах:

Хасанов Рафаэль Илдарович, аспирант кафедры вычислительной техники факультета информационных технологий Оренбургского государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 372551, e-mail: hasanov0401@yandex.ru

UDC 629.067: 629.113.017

Khasanov R.I

Orenburg state university, e-mail: Hasanov0401@yandex.ru

ON-BOARD SYSTEM OF ACCOUNTING THE CONDITION OF THE ROADWAY AND VEHICLE SPEED SELECTION

The author provided organization and architecture of the onboard control system and management of high-speed vehicle mode based on rapid assessment of the condition of the roadway, as well as its variant is the prototype of the system.

Key words: on-board control system, speed mode, recognition of the roadway, computer support.