

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ВОДИТЕЛЯ В ЗАДАЧЕ ВЫБОРА ТРАЕКТОРИИ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ОБЪЕКТА

**Р.И. Хасанов (ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»)**

*Разработана и исследована слоисто-ячеистая модель дорожного полотна как протяженного в пространстве объекта, в которой значения ячеек (фасетов) определяют конкретную категорию и уровень безопасности дорожного движения. Определены источники информации для бортовых систем компьютерной поддержки, а также разработана инструментальная база и рекомендации по выбору адекватной траектории и безопасной скорости движения мобильного объекта с учетом характеристик дорожного полотна.*

*Ключевые слова: слоисто-ячеистая модель дорожного полотна, выбор траектории и скорости движения мобильного объекта, высокоточное позиционирование, средства спутниковой навигации.*

На выбор траектории и скорости движения мобильных объектов (МО) значительно влияют характеристики дорожного полотна (ДП). Умение водителя, а также системы компьютерной поддержки достоверно и оперативно распознавать состояние ДП, с учетом этого состояния прогнозировать и выбирать оптимальную траекторию и скорость движения МО определяет вибрационный комфорт, срок службы узлов и агрегатов МО, а также безопасность дорожного движения. Задача выбора траектории и скорости движения МО является актуальной не только для автоматического управления, но и для «классического» ручного режима управления. Одним из основных принципов повышения активной безопасности МО является использование вспомогательных методов и средств компьютерной поддержки водителей.

Примерами ситуаций, из-за которых затруднен выбор адекватной траектории и скорости движения МО, являются следующие: множество выбоин на ДП, недостаточные условия видимости границ ДП, солнечное ослепление, песчаные или снежные бури, ливни, дымовые и световые завесы, неисправность системы искусственного освещения или вентиляции лобовых стекол МО.

Особую актуальность данная задача имеет для нашей страны с ее протяженной сетью автомобильных дорог, со сложным постоянно меняющимся рельефом, различными погодно-климатическими зонами, наличием участков дорог с отсутствующей или некорректно нанесенной дорожной разметкой.

Под мобильными объектами в настоящей работе понимаются легковые и грузовые автомобили, мотоциклы.

Использование на автомобильном транспорте различных типов радаров и лидаров в условиях дефицита визуальной информации (ДВИ) приоткрывает «завесу» лишь на коротком отрезке участка ДП. Предлагаемый подход компьютерной поддержки принятия решения по выбору траектории и скорости движения МО относительно оцифрованных границ ДП с автоматической привязкой картограмм дефектов и транспортно-эксплуатационного состояния (ТЭС) ДП позволяет увидеть «картину в целом». Предлагаемый и существующие подходы не должны рассматриваться, как взаимоисключающие, поскольку их синтез

оказывает синергетический эффект в решении задачи высокоточного позиционирования мобильных объектов в условиях дефицита информации.

Проблеме повышения активной безопасности МО уделено большое внимание в современной научно-технической, периодической, патентной литературе и в источниках сети Интернет [1–5]. Среди работ по данной тематике следует отметить разработки ученых и инженеров научно-производственных, академических и вузовских организаций: ФГУП «НАМИ» (проект «Беспилотный автомобиль»); ВолгГТУ (школа профессоров А.А. Ревина, И.В. Ходеса, Е.В. Балакиной), посвященные повышению устойчивости и управляемости автомобилей, компьютерной поддержке водителей, компьютерному контролю безопасных скоростных режимов автомобилей; МГТУ им. Баумана (труды профессора Г.О. Котиева), посвященные проектированию колесных и гусеничных машин, в том числе роботизированных; труды сотрудников МАДИ, АлтГТУ и ФГУП «НИИЭФА», посвященные системам оцифровки и позиционирования МО на ДП с использованием средств спутниковой навигации «ГЛОНАСС/GPS», интегральных датчиков магнитного поля.

Значительных успехов достигли также зарубежные ученые и разработчики академических, вузовских организаций: Университет Пармы (М. Бертоцци, А. Борги, А. Фасциоли, проект VIDA), Университет штата Луизианы (П. МакДовелл, Б. Бурже, Д. Софдж), агентство DARPA по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США, а также транснациональные корпорации Robert Bosch GmbH, Volkswagen AG, Siemens AG, концерн Delphi, Volvo Lastvagnar, посвященные разработке систем позиционирования и автоматического управления движением транспортных средств с использованием цифровых видеокамер и лазерных дальномеров.

Анализ современных публикаций показал, что, несмотря на значительные достижения в области методологии построения систем активной безопасности МО, существующие методы и средства компьютерной поддержки имеют следующие недостатки:

— зависимы от условий видимости, теряют свою функциональность при наличии дымовых или све-

товых завес, нестандартной разметки на поворотах малого радиуса;

— не учитывают наличие и дислокацию выбоин на поверхности ДП, а также выбор траектории движения МО с учетом характеристик ДП;

— не используют базы картограмм дефектов и транспортно-эксплуатационных состояний оцифрованных участков ДП, полученные службами мониторинга и диагностирования автомобильных дорог.

Целью работы является разработка экспериментального образца (прототипа) системы компьютерной поддержки при выборе траектории и скорости движения МО с учетом характеристик ДП в условиях ДВИ.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи.

1) Определены источники информации для бортовых систем компьютерной поддержки.

2) Разработана и исследована слоисто-ячеистая модель ДП, как протяженного в пространстве объекта, в которой значения ячеек (фасетов) определяют конкретную категорию и уровень безопасности дорожного движения.

3) Разработана инструментальная база и рекомендации по выбору адекватной траектории и безопасной скорости движения МО с учетом характеристик ДП.

Натурные исследования качества автомобильных дорог по маршруту «Оренбург — Исянгулово» и «Оренбург — Орск» по двум трассам Р-314 и Р-336 позволили получить следующую информацию. Первый вариант характеризуется следующим: наличием 30%

участков ДП с неудовлетворительным состоянием; на 15% протяженности дороги отсутствуют дорожные знаки, предписывающие скоростной режим для транспортных средств; выявлено 4 особо опасных участка, на которых не указана предупреждающая информация для участников дорожного движения. Вторым вариантом характеризуется: наличием 55% участков ДП с отличным состоянием; на 10% протяженности дороги отсутствуют дорожные знаки, предписывающие скоростной режим МО; выявлено 2 особо опасных участка, на которых не указана предупреждающая информация для участников дорожного движения.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующий вывод. В качестве источников информации для бортовых систем компьютерной поддержки должны быть учтены данные следующего типа [4]:

— априорные, полученные службами мониторинга и диагностирования автомобильных дорог от передвижных дорожных лабораторий в виде баз картограмм дефектов и ТЭС ДП;

— апостериорные, полученные в результате обмена информацией между участниками дорожного движения и элементами дорожной инфраструктуры по беспроводным каналам связи при эксплуатации МО;

— оперативные, полученные в результате регистрации, сбора и обработки данных от датчиков и приборов, расположенных непосредственно в транспортном средстве.

В настоящей работе автомобильная дорога рассматривается как протяженный в пространстве объект,

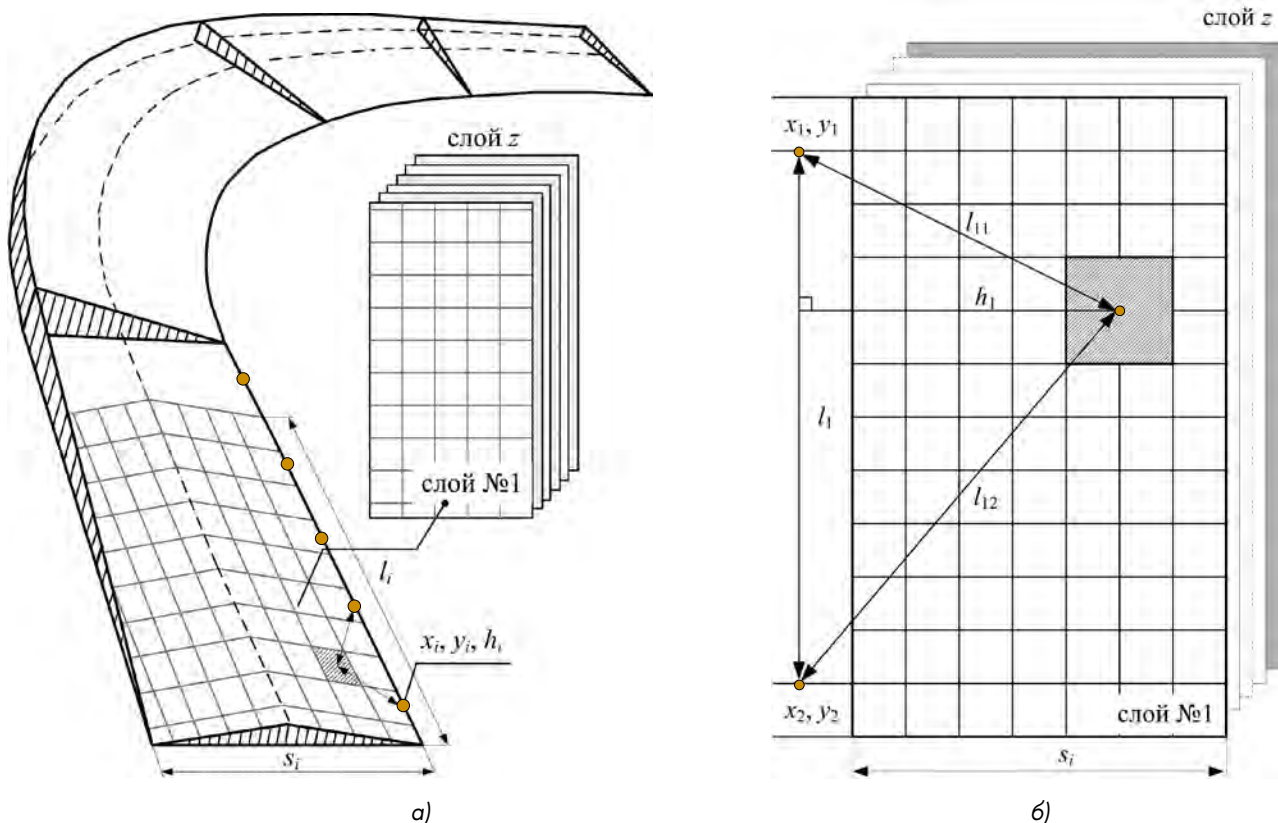


Рис. 1. Схема слоисто-ячеистой модели протяженного в пространстве объекта: а) совокупность участков ДП и слоев ТЭС ДП; б) схема адресации ячеек фрагмента матрицы

Табл. 1. Фрагмент оцифрованных границ участка дорожного полотна

									, 2	
							$x_i$	$y_i$		
00	51	53	6,5008	55	3	44,34	+1,48	+0,48	25	5,5
	51	53	6,3053	55	3	44,16	+2,05	+1,10	20	7
	51	53	6,1400	55	3	44,00	+0,48	+0,50	17	5
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	51	53	6,0073	55	3	43,823	+0,92	+0,62	30	5,9
										$\varphi$
						$l_i$	$s_i$			
01	51	53	6,5008	55	3	44,34	+5,00	+3,50	17,50	0,41
	51	53	6,3053	55	3	44,16	+15,00	+3,50	52,50	0,32
	51	53	6,1400	55	3	44,00	+10,00	+3,50	35,00	0,30
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	51	53	6,0073	55	3	43,82	+10,00	+3,50	35,00	0,50

границы которого оцифрованы средствами спутниковой навигации (ССН) «ГЛОНАСС/GPS» с требуемой дискретностью и точностью. Автомобильная дорога представляется в виде совокупности участков ДП, число которых равно  $k$ .

Участок ДП  $C_i$  длиной  $l_i$  и шириной  $s_i$  представляет собой совокупность двумерных матриц в виде независимых слоев, число которых равно  $z$ . В каждом из 7 слоев  $C_i$  хранится информация об определенном виде ТЭС ДП [4]: продольный  $\alpha$  и поперечный уклон  $\beta$ , ровность  $r$ , колеиность  $\rho$ , шероховатость  $\gamma$  и коэффициент сцепления  $\varphi$ , месторасположение  $K_\delta$ , площадь  $S_\delta$  и глубина выбоин  $h_\delta$ .

На рис. 1 представлена схема слоисто-ячеистой модели ДП как протяженного в пространстве объекта.

Каждая ячейка из двумерной матрицы (слоя) ассоциируется по своему адресу с определенными значениями ТЭС ДП:  $\alpha, \beta, r, \rho, \gamma, \varphi, K_\delta, S_\delta$  и  $h_\delta$ . Значения

ячеек (фасетов) ТЭС ДП определяют конкретную категорию и уровень безопасности дорожного движения. По совокупности значений ТЭС ДП бортовой компьютер определяет безопасный скоростной режим  $V_{без}$  и рекомендует траекторию движения для автомобиля  $TR_{рек}$ .

Входом модели подсистемы выбора (определения)  $V_{без}$  является совокупность  $S = \{\alpha, \beta, r, \rho, \gamma, \varphi, K_\delta, S_\delta, h_\delta\}$  регистрируемых значений параметров системы «водитель — автомобиль — дорога — среда», выходом модели — величина критической  $v_{кр}$  и безопасной  $v_б$  скоростей автомобиля, которая рассчитывается на основе математической модели И. В. Ходеса [5]. При этом бортовая система автомобиля рассматривается как аппаратно-программный преобразователь параметров  $S$  в параметр скорости  $V_{без}$ .

Адресация ячеек в матрице осуществляется следующим способом:

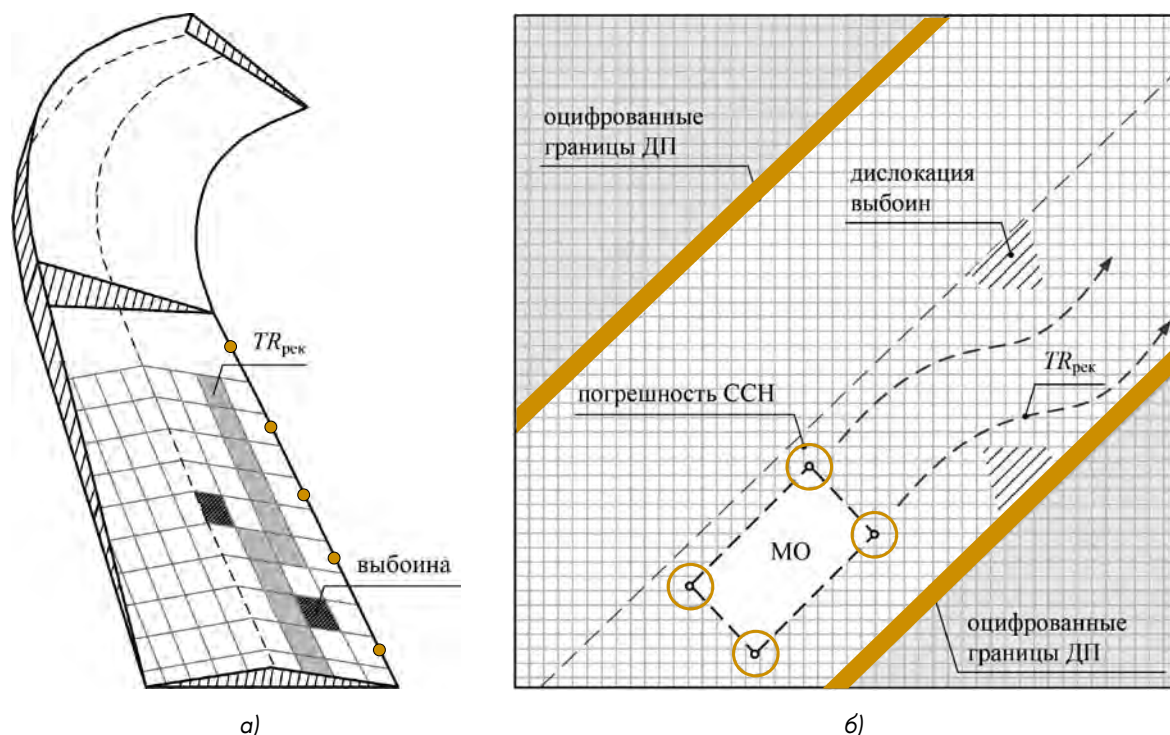


Рис. 2. Схема выбора траектории движения МО с учетом характеристик ДП: а) матричное представление участка ДП; б) схема отображения МО на экране бортовой системы

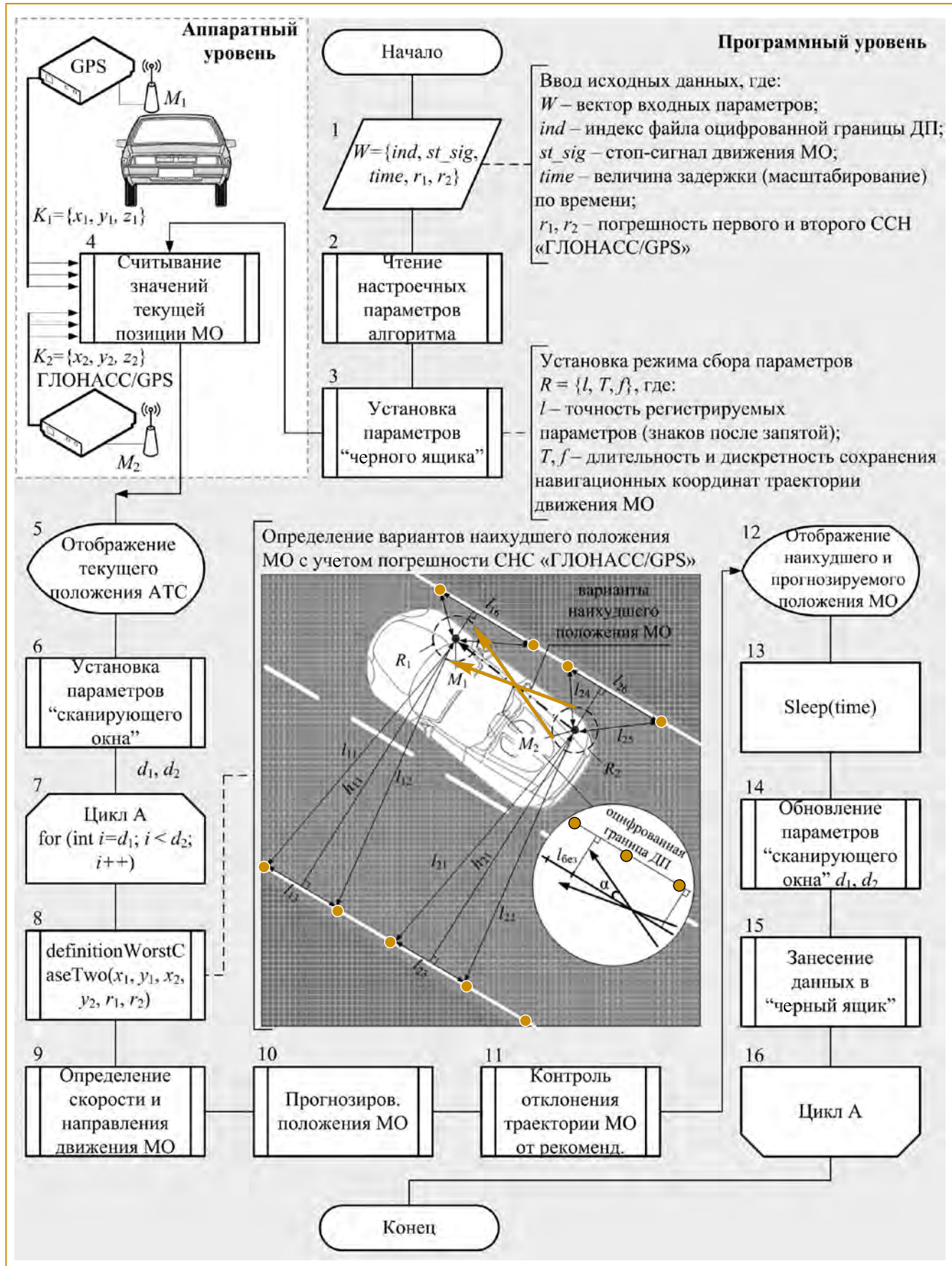


Рис. 3. Схема алгоритма выбора траектории и скорости движения мобильного объекта

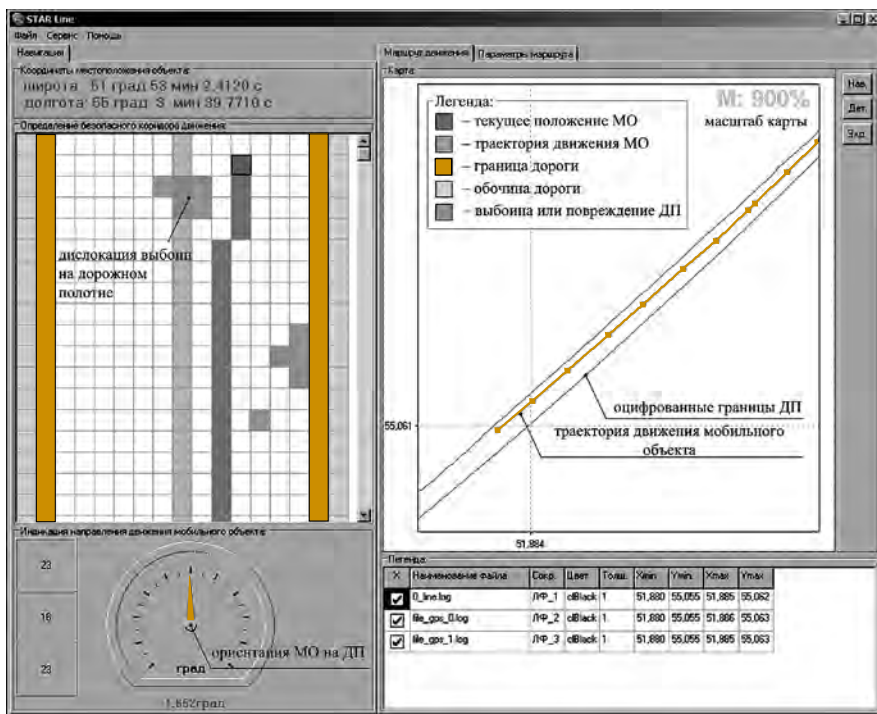


Рис. 4. Интерфейс инструментальной базы для выбора траектории и скорости движения МО

1. Оцифрованный участок ДП делится на сектора. Дискретность разбиения участка ДП на сектора определяется величиной погрешности ССН «ГЛОНАСС/GPS». Например, если между соседними координатами  $x_1y_1$  и  $x_2y_2$  оцифрованных границ ДП расстояние  $l_1=540$  см, а погрешность навигационного оборудования  $\Delta_{CCN}=60$  см, то количество строк  $m$  в матрице будет соответствовать  $\lfloor l_1/\Delta_{CCN} \rfloor = 9$ . При ши-

рине участка ДП  $s_1=700$  см, количество столбцов  $n$  в матрице будет равно  $\lfloor s_1/\Delta_{CCN} \rfloor = 11$ , где функционал в обратных скобках означает целую часть отношения.

2. Для обращения к произвольной ячейке матрицы необходимо указать координаты двух ближайших точек  $x_iy_i$  и  $x_{i+1}y_{i+1}$ , а также расстояния  $l_{11}$  и  $l_{12}$ . Алгоритм программы в автоматическом режиме определит адрес (индекс) строки и столбца для соответствующего слоя. В ситуациях, если какой-либо из слоев не требует такого детального разбиения на сектора, задается любая другая необходимая размерность.

В табл. 1 представлен фрагмент оцифрованных границ участка дорожного полотна с привязкой картограммы дефектов и значений ТЭС ДП.

Использование динамических массивов в качестве подхода при разработке архитектуры программного обеспечения, во-первых, позволяет автоматически изменять их размерность для накопления информации в процессе сбора, регистрации и обработки данных о геометрических и эксплуатационных параметрах ДП и МО. Во-вторых, использование динамических массивов позволяет сократить в бортовой ЭВМ затрачиваемые ресурсы памяти, поскольку неиспользуемые адресные диапазоны



Рис. 5. Районы проведения экспериментальных исследований:  
а) двух полосная трасса Р-314 «Оренбург – п. Заречье» (707 км);  
б) шести полосная трасса Р-295 «Оренбург – п. Заречье» (8 – 10 км)

и страницы (слои) можно автоматически освобождать из оперативной памяти бортовой системы.

Таким образом, данный программный подход делает работу с информацией более гибкой, так как не требует предварительного определения размерности хранимых объемов данных о дорожном полотне и маршруте движения мобильного объекта.

На рис. 2 (а, б) представлены схемы выбора траектории движения МО и представления информации на экране бортового компьютера для предупреждения водителя об опасности выбранного им режима движения.

Выбор траектории и скорости движения МО осуществляется алгоритмом программы автоматически по загруженной в оперативную память априорной информации о геометрических и эксплуатационных параметрах ДП и МО.

На рис. 3 представлена схема алгоритма выбора траектории и скорости движения мобильного объекта.

Для повышения быстродействия выбора навигационных данных из базы оцифрованных границ ДП реализована процедура «сканирующее окно», которая осуществляет поиск ближайших к МО оцифрованных точек (навигационных координат) границ ДП, хранящихся в динамическом многостраничном массиве.

На первом шаге алгоритма сканируется вся оцифрованная трасса для определения индексов ближайших точек к МО на дорожном полотне. В регистрах запоминаются начальные и конечные индексы навигационных координат оцифрованных границ ДП, которые обновляются по мере движения мобильного объекта по протяженному участку ДП. Величина сканирующего окна выбирается автоматически и зависит от скорости и направления движения автомобиля. Далее алгоритм сканирует не все содержимое массива, а лишь некоторый картографический диапазон.

Идея базируется на обобщении и систематизации передового зарубежного и отечественного опыта в области разработки систем высокоточного позиционирования мобильных объектов с использованием средств спутниковой навигации.

Разработанный экспериментальный образец (прототип) системы [6, 7] позволяет оцифровывать возможные маршруты движения автомобиля на местности и контролировать его местоположение в процессе движения. Надежность и достоверность регистрируемых сигналов в on-line режиме обеспечивается на основе контроля разности колесного хода автомобиля от одометра и пройденного расстояния по данным навигационной подсистемы, а также заложенную в алгоритмическое обеспечение величину априорной погрешности ССН «ГЛОНАСС/GPS».

Проведенные натурные эксперименты и анализ видимой ССН траектории движения транспортного средства и оцифрованных границ ДП свидетельствуют о достаточном разрешении взаимного положения графических линий ССН, позволяющем осуществлять мониторинг местоположения автомобиля относительно оцифрованных границ дороги.

В ситуациях полного или частичного отсутствия визуальной информации (например, из-за тумана, задымления окружающей среды, песчаной или снежной бури) система помогает водителю контролировать траекторию движения МО и предотвратить съезд транспортного средства с трассы.

Остановка транспортного средства на длительное время в условиях низких температур или из-за задымления окружающей среды не решит указанную проблему, поскольку, как показывает опыт, водители и пассажиры могут пострадать из-за обморожения или удушья.

Если перед водителями возникает ситуация острой необходимости перемещения транспортного средства в условиях полного или частичного отсутствия (дефицита) визуальной информации, то такая система крайне необходима. Для водителя появляется выбор: отвлечься на экран монитора, если ничего не видно в лобовое стекло ТС, или попытаться надеяться на чудо.

На рис. 4 представлен интерфейс разработанной инструментальной базы.

Эргономичность обеспечена гибкой настройкой программного обеспечения, а также ее открытой ар-



а)



б)

Рис. 6. Испытания экспериментального образца системы на автополигоне ОГУ:  
а) общий вид транспортного средства с установленным навигационным оборудованием;  
б) процесс оцифровки траектории движения МО

хитектурой. Пользователь обладает возможностью изменять как расположение и масштаб отображаемых визуальных элементов, так и их цветовую индикацию.

Пользователь обладает также возможностью задавать масштаб дороги и величину шага приращения пройденного пути МО, цветовое исполнение и яркость основных сегментов индикатора, перечень отображаемых навигационных и эксплуатационных параметров МО и дорожного полотна.

Программное обеспечение адаптировано для использования на мобильных компьютерах типа ноутбуков, установленном в транспортном средстве.

Представленный инструментарий совмещает в себе компьютерного помощника с детальным отображением положения МО относительно оцифрованных границ автомобильной трассы.

На рис. 5 (а, б) представлены спутниковые фотографии районов проведения экспериментальных исследований.

Натурные эксперименты проводились на различных участках дорог Оренбургской области, в частности: на автодроме ОГУ; на участке 707–705 км автомобильной трассы Р-314; на участке 8–10 км автомобильной трассы Р-295.

В качестве мобильного объекта было выбрано легковое транспортное средство «ВАЗ-21140». Навигационное оборудование: «ГЛОНАСС/GPS»-модули типа «SIM68EVБ КИТ» (10 Гц).

На рис. 5 и 6 представлен процесс натурных испытаний экспериментального образца системы.

В процессе исследований решались следующие задачи:

— исследование точностных параметров ССН «ГЛОНАСС/GPS» в реальных условиях при определении границ дороги и положения МО;

— анализ возможности передвижения МО в условиях дефицита визуальной информации с использованием специальных методов навигации, основанных на средствах цифровой регистрации границ (контуров) дорожного полотна на опасных участках автомобильных трасс и мониторинга местоположения автомобиля в процессе его передвижения.

Достоинствами представленного подхода являются следующие:

— высокая производительность и уровень универсальности за счет хранения навигационных данных в многостраничных динамических массивах и реализа-

ции “сканирующего” алгоритма оперативного выбора навигационных данных из базы оцифрованных границ ДП с учетом направления и скорости движения МО;

— адаптивность к изменению метрологической погрешности и дискретности получения навигационных данных от ССН «ГЛОНАСС/GPS».

Предложенный подход позволяет осуществлять компьютерную поддержку водителя при управлении МО в условиях дефицита визуальной информации. Полученные результаты могут быть рекомендованы при совершенствовании имеющихся и разработке новых систем компьютерной поддержки для повышения активной безопасности автомобильного транспорта. Наибольшую востребованность система компьютерной поддержки может получить у дальнобойщиков и водителей, перевозящих опасные грузы, а также эксплуатирующих пассажирскую, грузовую и спецтехнику в условиях крайнего севера, пустынь и на сложных маршрутах, например, на горных перевалах.

#### Список литературы

1. Аралбаев Т.З., Хасанов Р.И. Управление скоростным режимом автомобиля на основе средств оперативной оценки состояния дорожного полотна. Уфа: Издательство «Гилем», 2012. 146 с.
2. Бобров В.Н. Оценка параметров движения по вероятностным моделям градиентной атмосферы // Фундаментальные исследования. 2014. № 9. С. 506–510.
3. Бурмистрова О.Н., Пластилина Е.В., Тимохова О.М. К вопросу определения зависимости скорости движения автомобиля от расстояния видимости на кривых в плане // Фундаментальные исследования. 2015. №2. С. 2074–2078.
4. Самодурова Т.В., Гаспарян А.С. Влияние интенсивности снегопадов на безопасность движения транспортных средств // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. № 4. С. 148–152.
5. Ходес И.В. Управляемость и активная безопасность автомобиля (водителю, механику, инженеру). – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. 2010. 140 с.
6. Хасанов Р.И., Сарайкин А.И., Аралбаев Т.З. Инструментальная база для исследования режима позиционирования мобильного объекта в условиях дефицита информации // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 6 (89). С. 42–45.
7. Хасанов Р.И., Сарайкин А.И., Аралбаев Т.З. Инструментальная база для исследования режима позиционирования мобильного объекта в условиях дефицита информации // Журнал автомобильных инженеров. 2015. № 1 (90). С. 5–9.

*Хасанов Рафаэль Илдарович — канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».*

*Контактный телефон +7-922-850-73-41.*

*E-mail: hasanov0401@yandex.ru*

#### fitlet-RM от CompuLab: малогабаритный компьютер для тяжелых условий эксплуатации

Компания ФИОРД сообщает о выпуске fitlet-RM - нового изделия CompuLab. Этот безвентиляторный миниатюрный компьютер в цельнометаллическом корпусе является самым маленьким ПК для тяжелых условий эксплуатации и обеспечивает высокую долговечность при экстремальных температурах и условиях ударов, вибрации и пыли. Во многих независимых тестах fitlet-RM обеспечивает более высокие показатели по сравнению с ПК на базе Intel® Atom™. Производительность оригинального fitlet-1 увеличена вдвое за счет использования четырехъядерного AMD A10 Micro-6700T APU. Полностью

металлический корпус предназначен для максимального рассеивания тепла в минимально возможном объеме.

Миниатюрный корпус fitlet-RM объемом 0,22 литра состоит из металлических взаимно сцепляющихся деталей для прочности конструкции. fitlet-RM не имеет движущихся частей благодаря пассивному охлаждению и твердотельному накопителю. Материнская плата класса embedded и пассивное охлаждение позволяют fitlet-RM работать в широком диапазоне температур -40...70 °С.

<http://www.fiodr.com>