

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

УДК 629.053

**Бузников С.Е.**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент,  
Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное  
унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-  
исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»  
(ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), ул. Автомоторная, 2,  
125438, Москва, Российская Федерация,  
e-mail: sergey.buznikov@nami.ru

Аннотация. Проблема безопасности движения автомобильного транспорта затрагивает жизненные интересы большей части населения и характеризуется мировым уровнем значимости. Системный анализ проблемы создания конкурентоспособных систем активной безопасности автомобилей представляется в виде взаимосвязанного комплекса задач многокритериальной оптимизации и динамической стабилизации переменных состояния управляемого объекта. Для их решения необходима генерация всех возможных вариантов технических решений в пространстве аппаратных и программных средств и синтез управления, близкого к оптимальному. Для решения задачи системного анализа проблемы используется метод «морфологического ящика» Цвикки. Создание полнофункциональных систем активной безопасности предполагает решение задачи предотвращения типовых столкновений. Для её решения вводится структурированное множество столкновений, генерация элементов которого также выполняется с использованием метода «морфологического ящика» Цвикки. В качестве структурных переменных, характеризующих условия столкновений, рассматривается скорость движения препятствия, продольное ускорение управляемого объекта и непрогнозируемые изменения направления его движения, возникающие вследствие определённых неисправностей, состояния дорожного покрытия и ошибок управления. Условия предотвращения типовых столкновений формулируются в виде неравенств для физических переменных, определяющих вектор состояния объекта и его динамических границ. Объединение компонент вектора состояния и их границ для условий предотвращения различных типовых столкновений позволяет получить результирующую систему неравенств, записанную в терминах задачи динамической стабилизации состояния объекта. В докладе проводится анализ современных и перспективных зарубежных систем активной безопасности, предназначенных для предотвращения определённых типовых столкновений на базе структурированного множества.

Ключевые слова: системный анализ, многокритериальная оптимизация, виртуальные датчики информации, структурированное множество столкновений, системы активной безопасности.

## Введение

Проблема безопасности движения автомобильного транспорта затрагивает жизненные интересы большей части населения и характеризуется мировым уровнем значимости [1]. Поиск путей решения этой проблемы непрерывно ведется государственными органами законодательной и исполнительной власти, общественными и международными организациями. Однако рассчитывать на быстрое решение, без четкого понимания сущности проблемы, нельзя.

---

<sup>1</sup> Заведующий сектором управления интеллектуальных систем ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Одним из условий изменений в сложной экономической ситуации является сосредоточение усилий на решении центральной проблемы рыночной экономики – создание товаров и услуг высшего уровня конкурентоспособности.

**Целью данной научной работы** является системный анализ проблемы создания конкурентоспособных систем активной безопасности (САБ).

Одним из перспективных направлений решения проблемы безопасности движения автотранспорта, успешно развиваемым ведущими зарубежными фирмами, является создание различных систем активной безопасности [2]. Такие системы, включающие аппаратные и программные средства, предназначены для предотвращения столкновений определенных типов [3].

Однако копирование зарубежных технических решений, информационных технологий, норм и регламентов, без учета технического и технологического потенциала и без анализа условий эксплуатации транспортных средств в РФ, не даст должного результата. Если для создания новых аппаратных средств, таких как датчики информации, исполнительные устройства, устройства сопряжения и др., требуются новые материалы и технологии, то в области программных средств поле творческой деятельности практически не ограничено.

### **Постановка задачи многокритериальной оптимизации в пространстве технических решений.**

Собственно, обеспечение конкурентоспособности технической продукции непосредственно связано с решениями задач многокритериальной (векторной) оптимизации.

Так, конкурирующие между собой объекты характеризуются вектором показателей:

$$Q = (q_0, q_1 \dots q_n)^T,$$

где  $q_i(R)$ ,  $0 \leq i \leq n$  – частные показатели, значения которых зависят от вектора технических решений:  $R = (R_h, R_s)^T$ , при этом  $R_h$  – вектор аппаратных средств;  $R_s$  – вектор программных средств.

В число основных потребительских показателей рассматриваемых систем [4] входят:

$q_0(R)$  – уровень внешнего дизайна;

$q_1(R)$  – полнота реализуемых функций;

$q_2(R)$  – уровень ошибок наблюдения и управления;

$q_3(R)$  – уровень потребляемой мощности от внешних источников;

$q_4(R)$  – степень влияния внешних факторов;

$q_5(R)$  – степень влияния на смежные системы;

$q_6(R)$  – уровень отказоустойчивости;

$q_7(R)$  – ограничения на установку на объектах;

$q_8(R)$  – затраты на эксплуатацию;

$q_9(R)$  – цена комплекта системы.

Показатели  $q_i(R)$  приводятся к минимизируемому виду и являются безразмерными.

Особенностью решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях рыночной экономики является то, что выбор в некотором смысле лучшего варианта выполняется не столько разработчиком, сколько конечным потребителем. Это означает, что спрос на продукцию, не принадлежащую множеству компромиссов, закономерно оказывается нулевым. К тому же принадлежность продукции оптимальному множеству также не является гарантией ее коммерческого успеха у потребителя, предпочтения которого могут изменяться непрогнозируемым образом.

Объективные свойства приобретают технические решения, принадлежащие области рекордных систем ( $R$ -систем), для которых выполняется система неравенств:

$$q_i(R_i) \leq q_{i\min}, \quad 0 \leq i \leq 9.$$

Очевидно, что системы с рекордными показателями невозможно создать, используя традиционные технологии разработки, стандартную технику и программное обеспечение, что неминуемо приводит к повторению известных решений из множества неконкурентоспособных.

Концепция создания рекордных систем формулируется на этапе предпроектных НИР в терминах значений потребительских показателей, что дает координаты конечной цели разработки. Однако процесс движения к ней занимает определенное время даже тогда, когда разработчику известно, как реализовать задуманное. Это обстоятельство создает риски со стороны конкурирующих фирм, которые имеют возможность опередить разработчика и раньше выйти на рынок с продукцией аналогичного назначения.

В качестве направления поиска новых технических решений, обеспечивающих рекордные показатели, следует рассматривать пространство  $R_H$  аппаратных средств и пространство  $R_S$  программных средств.

Анализ задачи многокритериальной оптимизации для рекордных систем показывает, что ее решение лежит в области интеллектуальных систем, которые реализуются в минимальной конфигурации технических средств.

## Результаты исследований

### 1. Результаты построения структурированного множества типовых столкновений.

Для оценки множества потенциально возможных столкновений и способов их предотвращения выполняется построение структурированного множества столкновений с целью декомпозиции общей задачи на группы частных.

Рассмотрим условия столкновений [5] управляемого объекта и препятствия на поверхности дорожного покрытия:

$$\begin{cases} |L_m(t) - L_{np}(t)| \leq E_1; \\ |H_m(t) - H_{np}(t)| \leq E_2, \end{cases} \quad (1)$$

где:  $L_m(t)$  и  $H_m(t)$  – координаты центра масс управляемого объекта в криволинейной системе координат, связанной с топологией трассы;  $L_{np}(t)$  и  $H_{np}(t)$  – соответственно координаты центра масс препятствия в той же системе координат в виде расстояния от начальной точки маршрута и расстояния от края дорожного покрытия;  $E_1 > 0$  и  $E_2 > 0$  – константы, соизмеримые с габаритными размерами объекта и препятствия.

Условие столкновения (1) является необходимым и достаточным условием того, что два объекта в момент времени  $t$  оказались в окрестности одной точки на поверхности дорожного покрытия.

Для предотвращения столкновения достаточно, чтобы хотя бы одно из неравенств (1) не выполнялось на временном интервале движения.

Для решения этой задачи построим структурированное множество столкновений. Допустим, что в момент времени  $t_0 < t$  столкновение не происходит и неравенства системы (1) не выполняются.

Определим, что же приводит к столкновению объекта и препятствия в момент времени  $t$ . Для этого запишем следующую систему неравенств:

$$\begin{cases} |L_m(t_0) + \Delta L_m(t) - L_{np}(t_0) - \Delta L_{np}(t)| \leq E_1; \\ |H_m(t_0) + \Delta H_m(t) - H_{np}(t_0) - \Delta H_{np}(t)| \leq E_2, \end{cases} \quad (2)$$

где 
$$\Delta L_m(t) = \int_{t_0}^t V_m(\tau) d\tau = \int_{t_0}^t [V_m(t_0) + a_m(\tau)\tau] d\tau;$$

$$\Delta L_{np}(t) = \int_{t_0}^t V_{np}(\tau) d\tau;$$

$$\Delta H_m(t) = \Delta\Psi_m(t)\Delta L_m(t);$$

$$\Delta H_{\text{пр}}(t) = \Delta \Psi_{\text{пр}}(t) \Delta L_m(t);$$

$$\Delta \Psi_m(t) = \epsilon_m^{-1} \cdot \int_{t_0}^t V_m(\tau) \psi_{cm}(\tau) d\tau + \int_{t_0}^t \Delta \omega_m(\tau) d\tau;$$

$$\Delta \Psi_{\text{пр}}(t) = \epsilon_{\text{пр}}^{-1} \cdot \int_{t_0}^t V_{\text{пр}}(\tau) \psi_{\text{спр}}(\tau) d\tau + \int_{t_0}^t \Delta \omega_{\text{пр}}(\tau) d\tau;$$

$\Delta \Psi_m(t)$  и  $\Delta \Psi_{\text{пр}}(t)$  – непрогнозируемые изменения курсовых углов управляемого объекта и препятствия;  $\Delta \omega_m$  и  $\Delta \omega_{\text{пр}}$  – дополнительные составляющие угловых скоростей управляемого объекта и препятствия, возникающие при заносах и сносах колес;  $\epsilon_m$  и  $\epsilon_{\text{пр}}$  – колесные базы управляемого объекта и препятствия;  $\psi_{cm}$  и  $\psi_{\text{спр}}$  – углы поворота управляемых колес объекта и препятствия;  $V_m$  и  $V_{\text{пр}}$  – продольные скорости центров масс управляемого объекта и препятствия;  $a_m$  – продольное ускорение центра масс управляемого объекта.

Следует отметить, что отличием системы неравенств (2) для момента времени  $t$  от неравенств в момент времени  $t_0$  является наличие ненулевых слагаемых  $[\Delta L_m(t) - \Delta L_{\text{пр}}(t)]$  и  $[\Delta H_m(t) - \Delta H_{\text{пр}}(t)]$ , которые, собственно, и приводят к столкновениям.

Для построения структурированного множества столкновений воспользуемся методом «морфологического ящика» Цвикки [6]. При этом для упрощения задачи введем допущение о том, что  $V_m(t_0) \geq 0$ , а непрогнозируемые изменения направления движения препятствия отсутствуют:  $\Delta H_{\text{пр}}(t) = 0$ .

Введем три структурные независимые переменные, соответствующие условиям движения управляемого объекта и препятствия, входящие в уравнения дополнительных слагаемых  $\Delta L_m(t)$ ,  $\Delta L_{\text{пр}}(t)$  и  $\Delta H_m(t)$ :

$$\bar{a}_m = \begin{cases} 0, & \text{если } a_m = 0 & \text{– движение с постоянной скоростью;} \\ 1, & \text{если } a_m > 0 & \text{– разгон;} \\ 2, & \text{если } a_m < 0 & \text{– торможение;} \end{cases}$$

$$\bar{V}_{\text{пр}} = \begin{cases} 0, & \text{если } V_{\text{пр}} = 0 & \text{– неподвижное препятствие;} \\ 1, & \text{если } V_{\text{пр}} > 0 & \text{– попутное препятствие;} \\ 2, & \text{если } V_{\text{пр}} < 0 & \text{– встречное препятствие;} \end{cases}$$

$$\Delta\bar{\psi}_m = \begin{cases} 0, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) = 0 & \text{– в отсутствие дестабилизирующих фактов;} \\ 1, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за асимметрии осевых колесных пар;} \\ 2, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за разрушения шин;} \\ 3, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за отсоединения колес от ступиц;} \\ 4, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за разрушения подвески или рулевого управления;} \\ 5, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за продольных скольжений колес;} \\ 6, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за поперечных скольжений колес;} \\ 7, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за асимметрии тормозов;} \\ 8, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за состояния дорожного покрытия;} \\ 9, & \text{если } \Delta\tilde{\psi}_m(t) \neq 0 & \text{– из-за ошибок водителя при маневрировании.} \end{cases}$$

Введение указанных независимых структурных переменных предполагает рассмотрение столкновений с неподвижными, встречными и попутными препятствиями. Столкновения с препятствиями на пересечении дорог эквивалентно столкновениям с неподвижными препятствиями.

Непрогнозируемые изменения направления движения, сопутствующие столкновениям, могут отсутствовать либо возникать в результате непрогнозируемого изменения угла поворота управляемых колес:  $\psi_c \neq 0$  или дополнительной угловой частоты вращения центра масс:  $\Delta\omega_m \neq 0$  в результате заноса или сноса колес.

Множество состояний переменной  $\Delta\bar{\psi}_m$  соответствует действию определенных факторов, характеризующих состояние объекта, возможные неисправности, состояние дорожного покрытия и ошибки управления.

Множество  $M_1$  типовых столкновений, построенное на приведенных переменных, образует полную группу из 90 событий.

Множество опрокидываний  $M_2$  включает события, которые могут происходить как на поверхности дорожного покрытия, так и в результате выезда автомобиля за его пределы.

Множество опрокидываний  $M_2(\Delta\bar{\psi}_m)$  содержит 10 событий и также образует для опрокидываний полную группу событий.

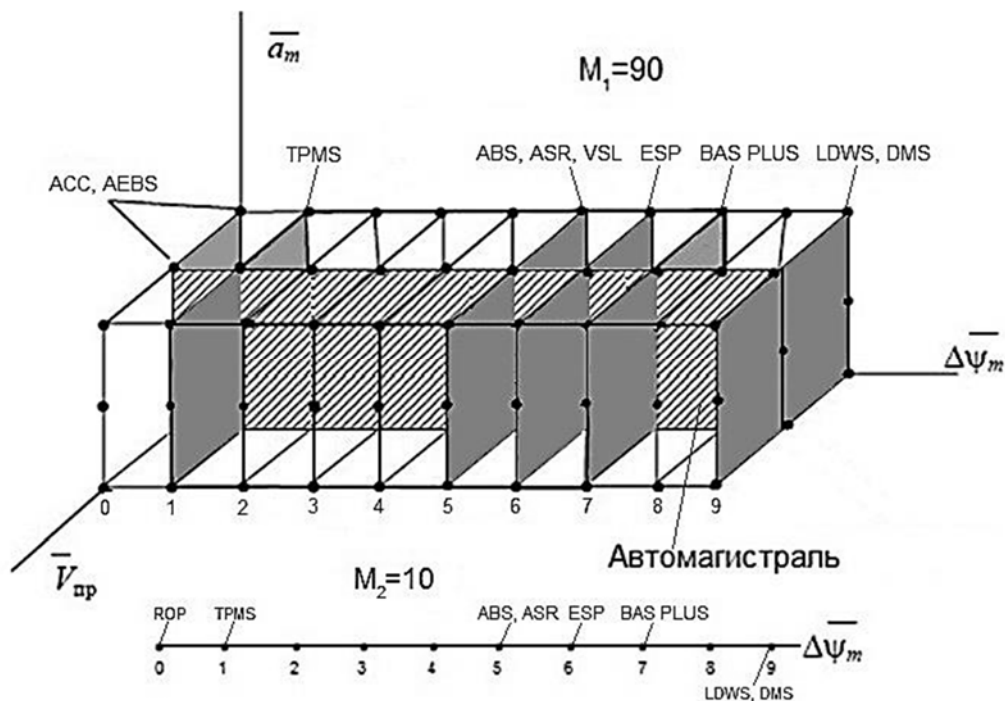
Суммарная мощность множеств  $M_1$  и  $M_2$  составляет 100 событий и образует модель проблемы, пригодную для ее анализа по частям.

## **2. Анализ структурированного множества типовых столкновений.**

Введение структурированного множества типовых столкновений путем декомпозиции основной проблемы на частные и более удобные для анализа и синтеза управляющих

воздействий позволяет провести оценку научно-технического уровня различных технических и организационных решений, направленных на снижение остроты проблемы.

На рисунке 1 приведено структурированное множество типовых столкновений  $M_1$  и опрокидываний  $M_2$ .



**Рисунок 1 – Структурированное множество типовых столкновений и опрокидываний**

Одним из направлений решения задачи предотвращения столкновений, сложившимся в мировой практике в последние десятилетия, является строительство дорог магистрального типа. Магистраль – многополосная дорога с односторонним движением и без пересечений с другими дорогами на одном уровне.

Топология магистрали позволяет исключить столкновения со встречными препятствиями, неподвижными и условно неподвижными с пересекающихся направлений. В этом случае из структурированного множества  $M_1$  столкновений исключается 30 столкновений со встречными препятствиями и 30 столкновений с неподвижными. Оставшиеся 30 столкновений с попутными препятствиями и 10 типовых опрокидываний, обусловленных ошибками управления, техническим состоянием автомобиля и дорожной среды, остаются как потенциально возможные.

Реализация этого направления сопряжена со значительными капитальными затратами и в условиях исторически сложившейся сети автодорог в России не может рассматриваться как единственно возможное решение.

Современные зарубежные САБ (антиблокировочная тормозная система – Antilock Brake System, ABS антипробуксовочная система – Automatic Slip Regulation, ASR; электронная

система стабилизации – Electronic Stability Program, ESP; расширенная система аварийного торможения – Advanced Emergency Braking System, AEB; система контроля давления в шинах – Tire Pressure Monitoring System, TPMS; система автоматического управления скоростью движения автомобиля, адаптивный круиз-контроль, – Adaptive Cruise Control, ACC; система предупреждения о выходе из полосы движения – Lane Departure Warning Systems, LDWS; комплексная система мониторинга состояния водителя – Driver Monitoring System, DMS; и др.), предназначенные для предотвращения определенных групп типовых столкновений (см. рисунок 1) структурированного множества, не обеспечивают полного решения общей задачи. В то же время существующие САБ обладают рядом неустраняемых недостатков, значительно снижающих их эффективность.

В таблице 1 приведены характеристики зарубежных систем активной безопасности, ограничивающие их применение в дорожно-климатических условиях РФ.

Таблица 1 – Характеристики зарубежных систем активной безопасности

№	Зарубежные системы активной безопасности	Ограничения функционирования в полной конфигурации
1	AEB	Торможение со срабатыванием ABS без учета дистанции до сзади идущего автомобиля
2	ACC	Стабилизация заданной скорости и дистанции, не являющихся безопасными
3	TPMS	Падение давления в 1-м из 4-х колес при $V_m > 40$ км/ч; $\Delta P_i > 0.6$ бар
4	ABS, ASR	Значительное снижение эффективности торможения на неровных поверхностях, на льду и на снегу
5	ESP	Неэффективна для автомобилей с высоким центром масс и на грунтовых дорогах
6	LDWS	Наличие распознаваемой разметки и вывод автомобиля на колею
7	DMS	Требует настройки на индивидуальные характеристики водителя

Системы предотвращения столкновений, обусловленных разрушением шин, подвески, рулевого управления, отсоединений колес от ступиц и значительными неровностями дорожного покрытия в современной зарубежной практике отсутствуют.

### 3. Задача динамической стабилизации транспортных средств.

Анализ условий столкновений управляемого объекта с препятствиями позволяет построить множество типовых столкновений, позволяющее выполнить декомпозицию общей задачи предотвращения столкновений на множество частных. Для определения групп типовых столкновений могут быть записаны достаточные условия их предотвращения в форме неравенств для конкретных физических переменных. Объединение групп неравенств  $M_i$  для каждой из переменных  $x_i$  в одно с верхними и нижними границами позволяет свести задачу предотвращения столкновений к задаче динамической стабилизации в наиболее общей постановке:



$$x_{i \text{ гр}}^H(U, X, t) \leq x_i(t) \leq x_{i \text{ гр}}^B(U, X, t), 1 \leq i \leq n \text{ при } U \in U_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где  $x_i(t)$  –  $i$ -я компонента вектора состояния  $X$ ;  $U = (U_1, U_2, \dots, U_m)^T$  – вектор управляющих воздействий с компонентами  $U_j, 1 \leq j \leq m$ ;  $U_{\text{доп}}$  – допустимое множество управляющих воздействий;  $x_{i \text{ гр}}^B(U, X, t) = \min[x_{i \text{ гр}1}^B, x_{i \text{ гр}2}^B, \dots, x_{i \text{ гр}r_i}^B]$  – верхняя граница допустимых значений  $x_i$ ;  $x_{i \text{ гр}}^H(U, X, t) = \min[x_{i \text{ гр}1}^H, x_{i \text{ гр}2}^H, \dots, x_{i \text{ гр}r_i}^H]$  – нижняя граница допустимых значений  $x_i$ .

Особенностью задачи динамической стабилизации для рассматриваемого класса объектов является то, что подавляющее число компонент вектора состояния  $X$  не измеряются, а их динамические границы  $x_{i \text{ гр}}^B$  и  $x_{i \text{ гр}}^H$  не определяются, что делает объект управления не полностью наблюдаемым. Кроме того, размерность вектора управления  $U \ll r$ , что делает объект не полностью управляемым. Отмеченные свойства являются определяющими при построении современных автоматизированных систем управления с участием оператора. В его задачу входит достраивание неизмеряемых координат состояния и их динамических границ на основе опыта, интуиции, прогнозирования и иных индивидуальных особенностей оператора.

Для автоматического управления объектом рассматриваемого класса необходимо решение задачи динамической стабилизации в наиболее полной постановке.

С позиций современной теории управления решение задачи динамической стабилизации на конечном временном интервале  $(t_1 \div t_2)$  оценивается по величине квадратичного функционала качества управления с учетом функциональных ограничений на технико-экономические показатели системы, реализующей управление:

$$Q(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n C_{1i} [x_i(\tau) - x_{i \text{ гр}}^B(U, X, \tau)]^2 d\tau, \\ + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n C_{2i} [x_i(\tau) - x_{i \text{ гр}}^H(U, X, \tau)]^2 d\tau \Rightarrow \min, \quad (4)$$

при  $U \in U_{\text{доп}}, R = (R_H, R_S)^T \in R_{\text{доп}}; q_i(R) \leq q_{i \text{ доп}}, 1 \leq i \leq l,$

где  $C_{1i} = \begin{cases} 0, \text{ если } x_i(t) \leq x_{i \text{ гр}}^B; \\ C_{1i}^* \gg 0, \text{ если } x_i(t) > x_{i \text{ гр}}^B; \end{cases}$   
 $C_{2i} = \begin{cases} 0, \text{ если } x_i(t) \geq x_{i \text{ гр}}^H; \\ C_{2i}^* \gg 0, \text{ если } x_i(t) < x_{i \text{ гр}}^H; \end{cases}$

$R$  – вектор технических решений;  $R_H$  и  $R_S$  – векторы аппаратных и программных решений;  $R_{\text{доп}}$  – допустимое множество технических решений;  $q_i(R)$  –  $i$ -я компонента вектора технико-

экономических показателей;  $q_{i \text{ доп}}$  – допустимое значение  $i$ -й компоненты вектора технико-экономических показателей.

К множеству основных технико-экономических показателей относятся уровни потребляемой мощности, влияния внешних факторов, универсальности, отказоустойчивости, затрат на эксплуатацию и стоимости программно-аппаратного комплекта.

Наилучшим решением задачи в предлагаемой постановке является алгоритм формирования управляющих воздействий, обеспечивающий динамическую стабилизацию вектора состояния объекта, реализованный в программно-аппаратной среде, удовлетворяющей системе ограничений на технико-экономические показатели.

## **Заключение**

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы:

1. Создание систем активной безопасности является наиболее перспективным направлением решения проблемы безопасности движения автомобилей.

2. Современные зарубежные системы активной безопасности потенциально позволяют предотвратить до 57 типовых столкновений из 100 возможных, однако этого явно недостаточно для того, чтобы считать проблему решенной.

3. Нарращивание функций перспективных систем за счет решения задач предотвращения разрушения шин, подвески и рулевого управления, отсоединения колес от ступиц наряду с совершенствованием решения других задач позволит создавать полнофункциональные системы активной безопасности для дорожно-климатических условий РФ.

4. Для достижения заметного снижения уровня аварийности подобными системами должны оснащаться все автомобили, находящиеся в эксплуатации, включая автомобили низших ценовых категорий.

5. Придание статуса высшего уровня конкурентоспособности таким системам возможно в минимальной конфигурации технических средств за счет использования более совершенных математических моделей и алгоритмов обработки информации.

## **Благодарность**

Данная научная статья была подготовлена по результатам прикладного научного исследования, которое проводится при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России, Соглашение № 14.624.21.0048 Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62417X0048.

## Литература

1. Системный анализ дорожного движения и дорожно-транспортных происшествий: сб. науч. тр. / МАДИ; редкол: В.А. Иларионов (отв. ред.) и др. – М.: МАДИ, 1989. – 107 с.
2. Davis L.C. Stability of adaptive cruise control systems taking account of vehicle response time and delay // *Physics Letters A*. – 20 August 2012. – Vol. 376, Issues 40–41. – P. 2658–2662. – Impact Factor: 1.677. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037596011200833X>, DOI: 10.1016/j.physleta.2012.07.019 (дата обращения: 22.03.2017).
3. Eunbi Jeong, Evaluating the effectiveness of active vehicle safety systems // *Accident Analysis & Prevention*. – March 2017. – Vol. 100. – P. 85–96. – Impact Factor: 2.070. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457517300404>, DOI: 10.1016/j.aap.2017.01.015 (дата обращения: 25.07.2017).
4. Бузников С.Е. Принципы построения рекордных информационно-управляющих систем коммерческого назначения // *Материалы XIII научно-технической конференции «Датчик 2001»*, май 2001 г. – С. 171–173.
5. Бузников С.Е. Современное состояние и перспективы развития автомобильных систем активной безопасности // *Труды XV Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем»*. Ч. 2. – М.: РГГУ, 2007. – С. 207–211.
6. Zwicky F. The morphological approach to discovery, invention, research and construction // *New methods of thought and procedure*. – Pasadena, 1967. – P. 273–297.