

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

А.Багдасарян¹, д.т.н., профессор, С.Багдасарян¹, к.т.н., Г. Кащенко², к.т.н., С.Николаева¹, Р.Семенов², к.т.н.

Одна из важнейших задач управления процессом перевозок на железнодорожном транспорте – строгий контроль состояния и перемещения вагонов на дорогах и сети РЖД в целом на основе достоверной оперативной информации о дислокации и состоянии контейнеров, вагонов и локомотивов. Решение этой проблемы предусмотрено стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. №877-р, стратегией инновационного развития ОАО "Российские железные дороги" на период до 2015 года (Белая книга ОАО "РЖД") и Приказом Министерства транспорта РФ от 03.11.2009 №195 "Об организации работ по оснащению железнодорожного подвижного состава средствами технического обеспечения системы автоматической идентификации железнодорожного подвижного состава".

Сегодня системы автоматической идентификации (САИ) внедряются во все сферы деятельности современного общества, в том числе и на железнодорожном транспорте. Одно из направлений совершенствования таких систем – их создание на основе современных беспроводных технологий, к которым, в частности, относится и радиочастотная идентификация (РЧИ) [1–2].

Функционирующие сегодня технические системы и средства слежения за дислокацией и работой подвижного состава не обеспечивают полную, достоверную и оперативную информацию, так как на уровне дорожных

информационных центров полнота и достоверность этих данных не превышают 90% с общим отставанием по времени на 1 ч и более. Кроме того, существующие САИ на железнодорожном транспорте имеют следующие ограничения:

- отсутствует возможность повагонной идентификации высокоскоростных составов (при скорости более 150 км/ч);
- невозможно определить местоположение подвижного состава с одновременной его привязкой к местности;
- количество уникальных идентификационных номеров ограничено;
- нерешенность проблемы коллизии, возникающей при нахождении нескольких идентифицируемых объектов в поле одного считывателя (например, несколько идентифицируемых

* ООО "НПП "ТРИИС" (Москва).

** ОАО "Концерн "Созвездие" (Воронеж).

контейнеров в одном вагоне) или одного объекта в поле нескольких считывателей;

- замкнутость систем и отсутствие каналов связи для обеспечения глобальной координации;
- невозможность модернизации систем и встраивания их в инфраструктуру АСУ.

В процессе развития САИ постоянно усложняются, что связано с интеллектуализацией обработки и передачи информации. Наряду с этим и рыночная стратегия развития РЖД в условиях конкуренции налагает жесткие ограничения на качество и сроки проектирования. Все это вызывает противоречие между постоянно возрастающей сложностью САИ и требованиями повышения качества и уменьшения сроков проектирования.

В таких условиях традиционные методы проектирования часто оказываются неэффективными. В статье авторы предлагают, используя современные подходы на основе методов искусственного интеллекта, в частности, путем построения экспертных систем, попытаться устранить эти противоречия.

Представленная система автоматической идентификации и управления транспортировкой грузов и фундаментальные основы ее построения основываются на применении акустоэлектронных технологий – радиочастотных меток на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Система позволяет в силу высокой точности и оперативности контроля существенно повысить достоверность и оперативность информации [3–18].

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

На основе САИ возможна эффективная организация отслеживания перемещения отдельных вагонов и контроля состояния отдельных грузов. Использование данной системы в составе единой АСУ грузовыми перевозками ОАО "РЖД" позволит оперативно получать сведения о местоположении поездов, а в случае повагонных отправок довести процесс слежения до уровня, когда можно будет

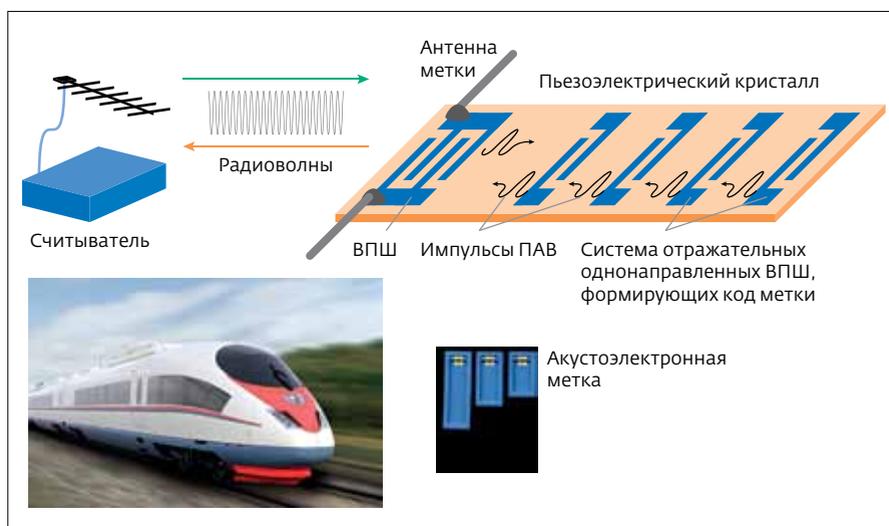


Рис.1. Принцип действия технологии РЧИ с применением акустоэлектронных меток

определять местоположение и автоматически идентифицировать отдельные вагоны. Принцип действия технологии РЧИ с применением акустоэлектронных меток представлен на рис.1 [1].

Основные преимущества системы:

- достоверность функционирования в сложных погодных условиях и при воздействии ударов и вибрации;
- простота монтажа;
- обеспечение большого радиуса чтения и идентификации при скоростях движения объекта до 300 км/ч и выше;
- не требуется технического обслуживания;
- практически неограниченный срок службы метки;
- для работы метки не нужны источники питания;
- достоверность идентификации, приближенная к 100%.

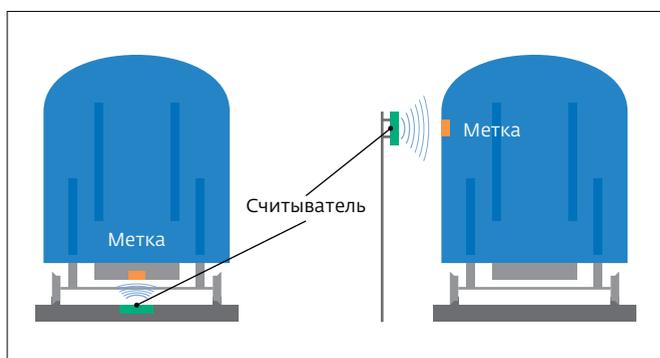


Рис.2. Варианты размещения компонентов системы автоматической идентификации

Пассивные ПАВ-метки закрепляются на железнодорожных вагонах и поездах, а считыватели располагаются в контрольных точках вдоль путей (рис.2) [1]. Радиочастотный идентификатор (радиочастотная метка на ПАВ) имеет уникальный код (радиочастотный отклик на опрашиваемый импульс считывающим устройством, присущий только данной метке), действующий на всей сети ОАО "РЖД" и несущий информацию о грузополучателе, грузоотправителе и другие необходимые данные. С технической точки зрения применение такой системы идентификации для железнодорожного подвижного состава эффективно, так как считывающие устройства можно установить поблизости от оси пути (при использовании пассивных меток на ПАВ типичная дальность приема и передачи при считывании составляет 3-5 м) [2]. Отслеживание перемещения железнодорожного транспорта с помощью такой системы основано на определении прохождения поездом контрольных участков, оснащенных оборудованием САИ. Варианты закрепления меток на железнодорожных вагонах и поездах и считывателей в контрольных точках вдоль путей показаны на рис. 2.

При информационной емкости пассивной радиометки 128 бит в ней может храниться следующая информация: тип подвижного состава; код владельца; номер единицы подвижного состава (вагона или локомотива); код стороны (правой или левой) вагона или локомотива, где установлена метка; длина вагона или локомотива; тип и число его осей; код рамы вагона или локомотива.

В процессе слежения за продвижением грузового поезда САИ составляет серию докладов. На станции отправления регистрируются сведения о локомотивах и вагонах в составе поезда, а также факт его отправления. Дата и время

отправления сохраняются в считывателе и передаются на центральный пункт управления движением состава. Может также записываться и масса каждого вагона (при наличии устройств, подключенных к системе, для взвешивания подвижного состава в движении). По прибытии на станцию назначения состав поезда должен быть идентифицирован вновь. После этого из считывателя выгружается вся информация, записанная по пути следования.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Неблагоприятные условия эксплуатации САИ на железнодорожном транспорте и необходимость их интеграции с единой АСУ сети РЖД обуславливают предъявляемые к ним (к САИ) следующие требования:

- возможность оперативного получения данных не только о местонахождении локомотивов и отдельных вагонов в реальном масштабе времени, но и о направлении их движения, а также о состоянии;
- достоверная передача информации (до 0,99999) в реальных условиях при наличии определенного уровня помех, экстремальных температур (от -70 до 80°C), близко расположенных высоковольтных линий электропередач, а также случаев обледенения или покрытия поверхности, на которой расположены РЧ-метки, слоем сажи, нефти или мазута;
- использование единой системы кодирования подвижного состава, обладающей свойствами долговременности и универсальности в отношении различных видов подвижного состава и перевозимых грузов. Реализация этого требования необходима для обеспечения бесконфликтного обмена данными между железнодорожными предприятиями и представляет собой один из важнейших аспектов стандартизации информационно-управляющих систем РЖД;
- возможность одновременной идентификации большого количества грузов, находящихся в вагоне. Для этого разработаны антиколлизийные алгоритмы и специальное программное обеспечение.

Выполнение этих требований достигается благодаря, во-первых, системной интеграции современных инфокоммуникационных технологий и, во-вторых, потенциальным возможностям акустоэлектроники. Новые элементная база и конструктивно-технологические решения последней

позволили получить предельные характеристики по разрядности, полосе рабочих частот, уровню вносимого затухания радиосигнала, динамическому диапазону и др.

На основе интеллектуального подхода разработаны:

- системы критериев оценки эффективности САИ с учетом особенностей их функционирования в составе инфраструктуры РЖД [3-5]. На практике найти количественные значения некоторых показателей качества затруднительно. Ситуация усложняется, когда информация о системе носит конфиденциальный характер. В связи с этим обычно при оценке эффективности систем принимают весьма скромную номенклатуру показателей, что очень часто является причиной неправильного выбора варианта САИ. Выбранные показатели целесообразно иерархически структурировать, что позволяет, во-первых, сравнивать системы по отдельным групповым признакам и, во-вторых, облегчить процедуру определения коэффициентов весомости показателей. Группировка показателей качества по каким-либо признакам способствует получению более достоверных результатов интегральной

оценки объекта. Таким образом, множество показателей качества целесообразно разбить на несколько групп. В общем случае все множество показателей качества и конкурентоспособности САИ включает несколько десятков критериев, сгруппированных по видовым группам: конструктивные, функциональные, экономические и специальные [3];

- метод формирования допустимых альтернативных вариантов САИ. Он основан на ранжировании компонентов для определения последовательности их комбинирования и оценки получаемых комбинаций по некоторой совокупности критериев. Так как главная задача морфологического анализа – не выбор оптимального варианта, а формирование и отбор приемлемых вариантов, то для каждого критерия устанавливаются пороги, т.е., например, верхние границы для критерия затрат или нижние границы для критерия эффективности.

На основе интеллектуального подхода разработаны методы решения нечетких задач многокритериального выбора наилучших вариантов САИ [6-7], управления транспортировкой грузов на РЖД, нечеткого многокритериального выбора

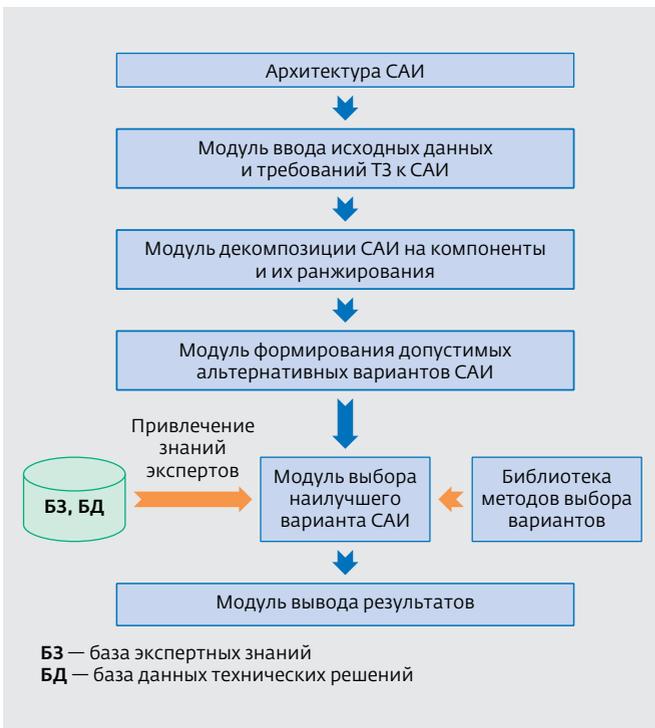


Рис.3. Архитектура системы автоматической идентификации

маршрутов транспортных грузов, а также формализована задача нечеткого многокритериального выбора маршрутов транспортных грузов с использованием исходных данных от САИ. Общая архитектура построения системы автоматической идентификации на основе интеллектуального подхода приведена на рис.3.

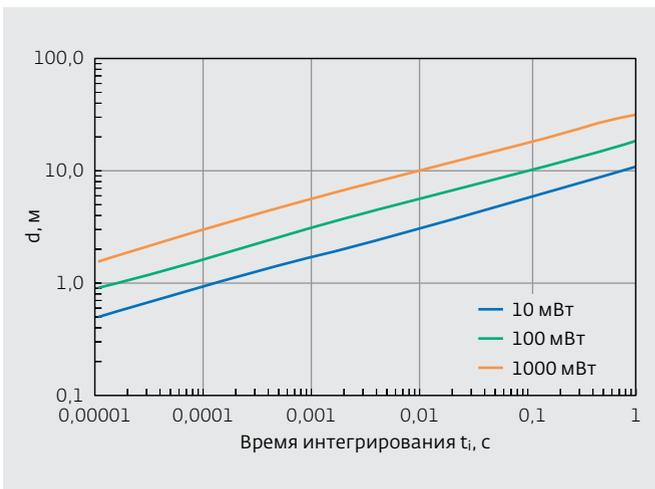


Рис.4. Зависимость дальности считывания метки d от длительности интегрирования ответного сигнала метки t_i

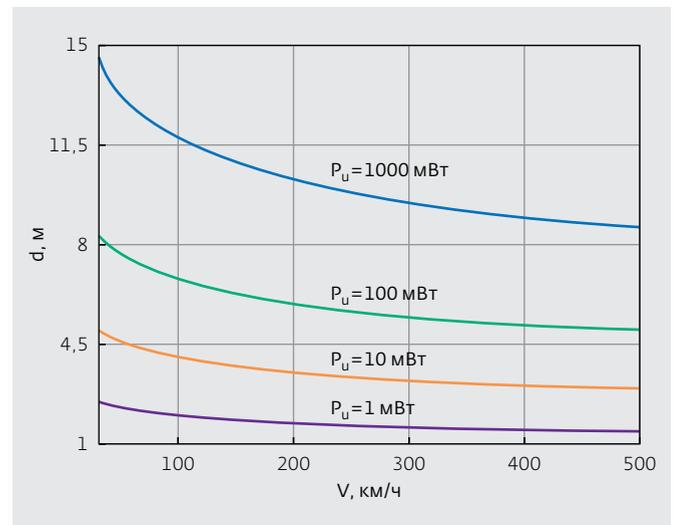


Рис.5. Зависимость дальности считывания метки при разной импульсной мощности от скорости движения транспортного средства

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Основной характеристикой, которую необходимо учитывать при построении САИ, является зависимость дальности считывания метки d от длительности интегрирования ответного сигнала метки t_i . Расчеты проводились для трех значений мощности передатчика ($P_{и}$): 10, 100 и 1000 мВт (рис.4) [8].

Дальность считывания метки d возрастает (см. рис. 4) пропорционально корню четвертой степени из произведения излучаемой импульсной мощности $P_{и}$ и времени интегрирования t_i , достигая 10 м за время $t_i=0,1$ с при мощности 100 мВт. Время интегрирования имеет принципиальное значение при считывании меток и, в первую очередь, для железнодорожного транспорта.

Критерием достаточности времени интегрирования является временной интервал перемещения подвижного объекта на заданной скорости. Он должен быть значительно больше удвоенного времени прохождения поверхностной акустической волны (возбужденной запросным импульсом считывателя) топологической структуры метки, выполненной на пьезокристаллической подложке.

Из зависимости дальности считывания метки при импульсной мощности 1, 10, 100 и 1000 мВт от скорости движения транспортного средства (рис. 5) видно, что для всех скоростей движения дальность считывания увеличивается пропорционально корню четвертой

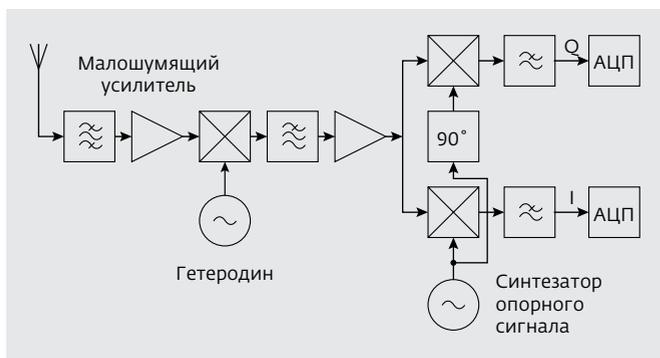


Рис.6. Структурная схема приемопередатчика системы

степени от мощности [8]. Но на большой скорости (300–400 км/ч) дальность считывания метки снижается: например, при выбранной мощности в 100 мВт – с 8 до 5 м. Этот факт следует иметь в виду при проектировании системы идентификации железнодорожного транспорта и применять считыватель мощностью не менее 1 Вт.

Так как передаваемая информация от метки содержится как в амплитуде, так и в фазе принимаемого сигнала, то в качестве схемного решения

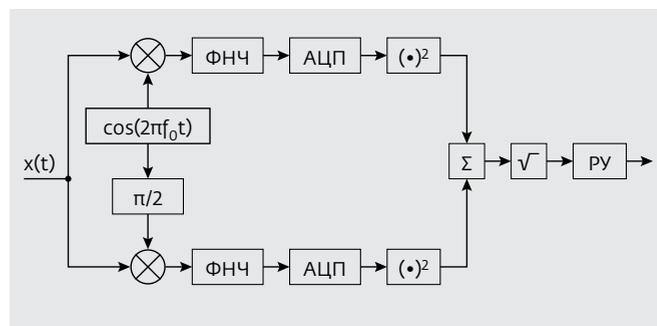


Рис.7. Структурная схема алгоритма обработки сигналов в приемопередатчике: $x(t)$ – опросный сигнал; ФНЧ – фильтр нижних частот; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; РУ – решающее устройство

для приемопередатчика САИ был предложен следующий его вариант построения (рис.6).

Алгоритм обработки сигналов в приемопередатчике для определения кода метки и соответствующая ему структурная схема приведена на рис.7 [9].

Результаты измерений параметров считывателя показали, что он имеет динамический диапазон около 95 дБ, обеспечивающий высокую

чувствительность и возможность работы в условиях электромагнитных наводок, возникающих при движении поезда вдоль линий ЛЭП.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ:
№ 11-07-13141-офи-м-2011-РЖД, 12-07-13124-офи_м_РЖД.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кашенко Г.А., Семенов Р.В., Багдасарян С.А., Кашенко А.Г.** Современное состояние проблем проектирования систем радиочастотной идентификации с акустоэлектронными компонентами. – Известия Академии инженерных наук им. А.Н.Прохорова. – М.-Н. Новгород: 2011, с.64–84.
2. **Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кашенко Г.А., Семенов Р.В., Багдасарян С.А., Кашенко А.Г.** Системный подход к проектированию комплекса средств радиочастотной идентификации для защиты критически важных объектов от несанкционированного доступа. – Теория и техника радиосвязи, 2001, вып. 2, с.5–14.
3. **Багдасарян А.С., Кашенко А.Г., Кашенко Г.А., Семенов Р.В.** Методика формирования и выбора конкурентоспособных систем радиочастотной идентификации на железнодорожном транспорте. // XVIII международная НТК "Радиолокация, навигация, связь". – Воронеж: ВГУ, 2012, т. 3, с.1980–988.
4. **Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V. et al.** Estimation of quality and competitiveness of radio-frequency identification systems of objects and subjects on a rail transport. / Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. – Ukraine, Lviv-Slavske. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic., 2012, v.1, p.137–140.
5. **Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В. и др.** Формирование комплексных показателей качества и конкурентоспособности интеллектуальной системы РЧИ на железнодорожном транспорте / Труды XIII международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии". – Одесса, 2012.
6. **Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В. и др.** Многомодельный подход к выбору варианта радиочастотной идентификации для систем контроля и управления доступом к критически важной инфраструктуре российских железных дорог. / Труды XIII международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии". – Одесса, 2012.
7. **Bagdasaryan A.S., Bagdasaryan S.A., Butenko V.V. et al.** The formalized approach to a choice of a variant of radio-frequency identification system of equipment on a rail transport. / Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. – Ukraine, Lviv-Slavske. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic., 2012, v.1, p.97.
8. **Багдасарян С.А., Николаева О.В., Подшивалова Г.В., Семенов Р.В.** Оценка дальности действия систем радиочастотной идентификации в условиях природных и техногенных катастроф. – Теория и техника радиосвязи, 2012, вып.4, с.11–16.
9. **Бутенко В.В., Багдасарян С.А., Семенов Р.В.** Принципы антиколлизийной обработки сигналов в системах радиочастотной идентификации на основе ПАВ-технологий. – Труды НИИР, 2012, вып.4, с.15–21.
10. Патент РФ №2326403. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я. – Опубл в Б.И. №16 10.06.2008.
11. Патент РФ №2326404. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я. – Опубл в Б.И. №16 10.06.2008.
12. Патент РФ №2326405. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл. в Б.И. №16 10.06.2008.
13. Патент РФ №2344437. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл в Б.И. №2, 2009.
14. Патент РФ №2333512. Антиколлизийная система радиочастотной идентификации. / Гуляев Ю.В., Бутенко В.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А. – Опубл. в Б.И. №25 10.09.2008.
15. Патент РФ №2333513. Антиколлизийная система радиочастотной идентификации. / Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А., Никитов С.А., Николаев В.И., Николаев О.В. Опубл. в Б.И. №25 10.09.2008.
16. Патент РФ №2344441. Антиколлизийная система радиочастотной идентификации. / Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл. в Б.И. №2 2009.
17. Патент РФ №2344438. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл в Б.И. №2 2009.
18. Патент РФ №2344440. Устройство идентификации на поверхностных акустических волнах. / Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. – Опубл в Б.И. №2 2009.