

УДК 621.396.6

## **ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ РАДИООХРАННЫХ СИСТЕМ**

*Статья поступила в редакцию 10.09.2015, в окончательном варианте 18.09.2015.*

**Колганов Андрей Андреевич**, аспирант, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Российская Федерация, г. Москва, ул. Мясницкая, 20, e-mail: [akolganov@hse.ru](mailto:akolganov@hse.ru)

Рассмотрена технология организации радиоохраны современного гражданского автомобиля, основанная на взаимодействии с системами глобального позиционирования, сотовой связи и сетью Интернет. Предлагаемый автором подход предполагает, что владелец активирует радиоохранную систему автомобиля (РОСА) посредством пульта дистанционного управления и может наблюдать за его местонахождением на компьютере, планшете или смартфоне. Подробно описана инженерная методика проектирования РОСА с учетом требований по массогабаритным показателям и энергопотреблению. Методика совместима с применением различных САПР и включает четыре этапа: оценка технической возможности реализации РОСА при заданных к ней требованиях; структурно-математическое моделирование; инженерное проектирование модуля РОСА; экспериментальное моделирование конструкции печатного узла, обеспечивающего реализацию этого модуля. Представлена IDEF0 диаграмма инженерной методики проектирования и пример практической реализации по ней модуля РОСА на основе следующей элементной базы и телекоммуникационных средств: микроконтроллеров, микросхем flash памяти, ГЛОНАСС / GPS приемников, GSM модемов, трансиверов, акселерометров, CAN драйверов, DC-DC преобразователей, антенн и «обвязки». Приведена структура модуля РОСА; алгоритм выбора оптимальной элементной базы, включающий целевую функцию и расчетные формулы. По техническим требованиям и условиям с применением предложенной методики спроектирована электрическая принципиальная схема и конструкция печатного узла модуля РОСА. Проведено моделирование его работоспособности с учетом тепловых режимов в условиях внешних воздействий.

**Ключевые слова:** автомобильная сигнализация, угон автомобиля, передача данных, САПР, методика, IDEF0 диаграмма, проектирование, элементная база, микросхема, микроконтроллер, навигация, печатная плата, печатный узел

## **ENGINEERING TECHNIQUE OF DESIGNING RADIO SECURITY SYSTEMS FOR VEHICLE**

**Kolganov Andrey A.**, post-graduate student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russian Federation, e-mail: [kolandr@gmail.com](mailto:kolandr@gmail.com)

The technology of a modern car radio security based on cooperation with global positioning systems, mobile communications and the Internet is proposed. The scheme of radiosecurity car system, which allows a owner to activate protection by a remote control and monitor its location on a computer, tablet or smartphone is provided. An engineering design technique of automobile radio security system to meet the requirements of mass-dimensional performance and power consumption is presented. Methods of using a variety of CAD consists of four stages: assessment of feasibility of radiosecurity system; structural and mathematical modeling; engineering design of radiosecurity module; experimental modeling of printed circuit board. Presented IDEF0 diagram engineering techniques and an example of the practical implementation of its radio security module from the following element base: microcontroller unit, flash memory, GLONASS / GPS receivers, GSM modems, transceivers, accelerometer, CAN drivers, DC-DC converters, antennas. Disclosed structure of radiosecurity module algorithm for selecting optimal element base, including formulas and the objective function. The electric circuit and printed circuit board that meets technical requirements are designed. The thermal simulation of printed circuit board is implemented.

**Keywords:** car alarms, car theft, data transfer, CAD, technique, IDEF0 chart, design, electronic components, chip, microcontroller, navigation, printed circuit board, printing unit

**Введение.** Мировой рынок автомобилестроения в настоящее время является одним из самых динамично развивающихся, на нем имеет место жесткая конкуренция между производителями. Такая ситуация стимулирует производителей к применению актуальных технологических наработок при проектировании и выпуске новых моделей. Как следствие, увеличивается сложность производимых изделий, количество используемых электронных компонентов и отдельных блоков, конечную стоимость автомобилей. Это делает их привлекательными объектами для хищения – с целью перепродажи «целиком» или после разборки на отдельные блоки / части.

Поэтому обеспечение сохранности автотранспортного средства от неправомерного завладения, кражи составных частей или вещей, находящихся в салоне / багажнике, является актуальной задачей. Аналогичные задачи стоят и в отношении ряда других мобильных объектов (МО). Сейчас для решения задач охраны в сегменте автомобилей нижнего и среднего ценовых уровней применяются в основном механические и электротехнические устройства различной степени сложности и назначения [8]. Их функциональные возможности являются сравнительно ограниченными. Объединение таких устройств в единое целое и их комплексование со стационарными системами защиты (в т.ч. автостоянками, оборудованными системами видеонаблюдения и физической защиты периметра) позволяет создавать охраняемые комплексы с высоким уровнем защиты и большими наборами функциональных возможностей. Так современная бортовая радиоохранная система автомобиля (РОСА) должна осуществлять контроль состояния замков дверей, капота, багажника, состояние стеклоподъемников, охрану зон расположения узлов управления; контролировать работоспособность функциональных блоков; обеспечивать охрану периметра вокруг автомобиля, а в случае тревоги – сработать и оперативно передать тревожный сигнал владельцу.

С каждым годом к бортовым РОСА предъявляются всё более жесткие требования по массогабаритным параметрам и энергопотреблению [4, 5, 12–14], надежности, функциональным возможностям. Однако способы удовлетворения этих требований недостаточно отражены в существующих публикациях. Поэтому целью данной работы является создание инженерной методики проектирования РОСА на основе использования обобщенной математической модели и применения современных САПР.

**Существующие решения современных РОСА.** Имеется достаточно широкий спектр готовых решений РОСА. Среди них можно выделить три основных класса устройств. Это автономные маяки или блоки-закладки; системы с односторонней или двусторонней связью с владельцем МО за счет использования радиоканала; системы с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и сетей сотовой связи. Кратко рассмотрим особенности каждого из классов данных систем.

Автономные маяки или блоки-закладки часто используются совместно с другими РОСА. Их основное назначение – поиск автомобиля после угона или кражи, когда основная РОСА была обнаружена и демонтирована (выведена из строя) злоумышленником, то есть перестала выполнять свои охраняемые функции. В состав автономных систем входит батарея для обеспечения функционирования маяка, что позволяет устанавливать его практически в любом месте автомобиля, без подключения к штатной системе питания. Это затрудняет обнаружение такого устройства злоумышленниками. При соответствующем климатическом исполнении данные устройства могут быть успешно использованы для охраны полуприцепов или на водном транспорте, так как данные средства являются сезонными и часто остаются надолго без контроля владельца. Отметим, что в случае угона автомобиля и помещения

его в металлический гараж, использование таких систем «блокируется» – за счет экранирования электромагнитного излучения.

Системы, использующие радиоканал для связи с владельцем автомобиля (рис. 1), можно разделить на две категории – с односторонней связью и двухсторонней связью.



Рис. 1. Схема РОСА с использованием радиоканала

Системы с односторонней связью в силу их простоты имеют ряд недостатков. Основной и самый существенный из них – это ограниченный радиус действия системы оповещения о срабатывании сигнализации автомобиля, которое осуществляется с помощью воспроизведения звуковых и световых сигналов. Кроме того, применение одностороннего канала связи не даёт возможности запросить текущее состояние системы (охраняемого объекта) на удалении от автотранспортного средства.

Этот недостаток был устранен применением в РОСА двухстороннего канала связи (рис. 1), при которой между брелоком владельца и бортовым модулем происходит радиообмен в общедоступном диапазоне частот. Поэтому владелец может постоянно видеть (отслеживать), в каком состоянии находится система. Практически все современные РОСА используют диалоговый код, что защищает передаваемый между брелоком и бортовым модулем сигнал от перехвата. Указанные системы защиты являются решениями нижнего и среднего ценового уровня.

Использование GSM-сети как дополнительного канала связи для управления и получения оповещений от РОСА существенно улучшает эксплуатационные характеристики системы, делает ее более надежной (рис. 2). Дальность действия в данном случае ограничена исключительно зоной покрытия сети сотовой связи. Использование приемников ГНСС позволяет получить местоположение охраняемого автомобиля с точностью до нескольких метров. Недостатками таких систем является цена (они относятся к решениям высокого ценового уровня), а также большое количество компонентов для установки и размещения в кузове автомобиля, по сравнению с системами предыдущего класса. Однако, несмотря на указанные минусы, данный класс РОСА является наиболее перспективным для дальнейшего развития. Так как он обеспечивает не только охранные функции автомобиля, но и расширенный функционал – в частности отображение местоположения, передачу данных о состоянии объекта и др. Накопление подобных данных может быть полезно для дальнейшего анализа и исследования перемещений транспортного средства [2].

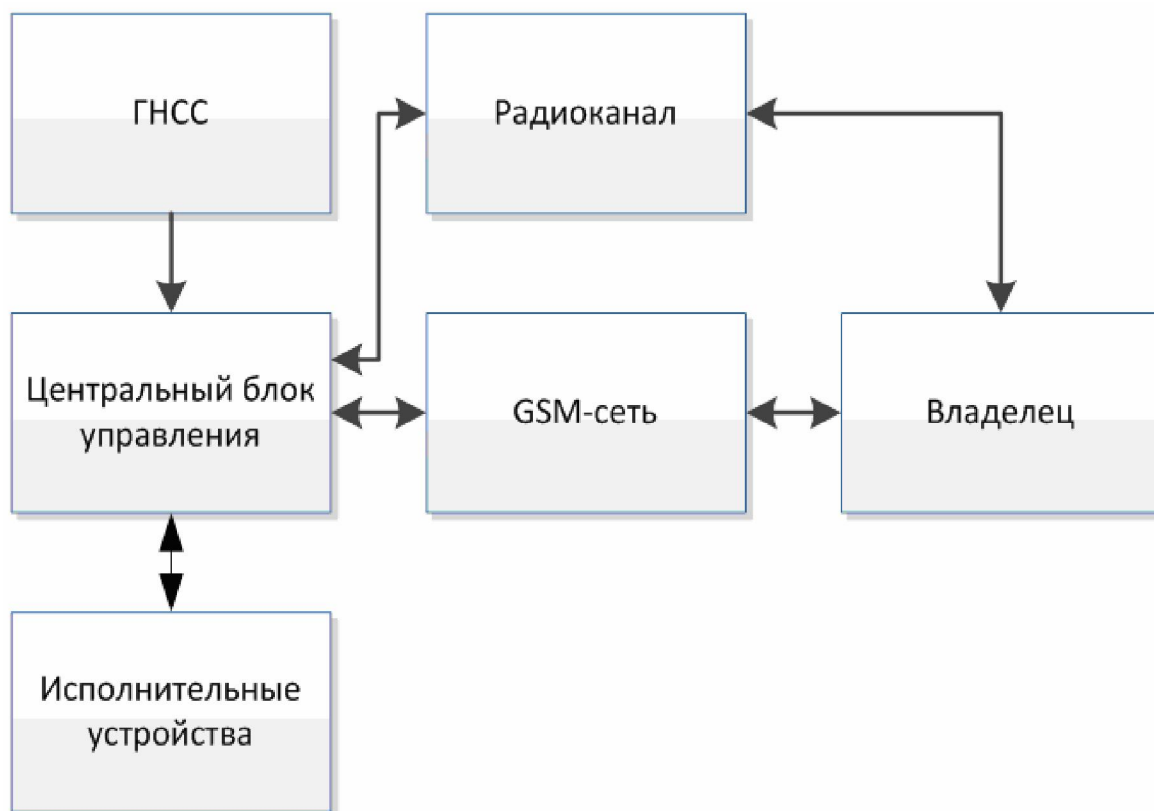


Рис. 2. Схема РОСА с использованием ГНСС и сетей сотовой связи

**Общие характеристики работы современных РОСА с использованием ГНСС и сотовой связи.** В таких РОСА используется взаимодействие с системами глобального позиционирования, сотовой связью и сетью Интернет (рис. 3). Основным и практически единственным способом связи, использующим сотовые сети на территории РФ и Европы, на текущий момент является стандарт GSM, несмотря на то, что существуют более технически совершенные и энергетически выгодные – например CDMA. За счет применения прогрессивной технологии кодового разделения каналов CDMA обеспечивает значительное снижение уровней излучаемой мощности и улучшенную помехозащищенность в сравнении с GSM стандартом. Кроме того, в CDMA применяется более эффективная по сравнению с GSM схема управления излучаемой мощностью мобильного терминала. Это увеличивает размеры зоны радиопокрытия сети CDMA; улучшает показатели качества связи, особенно, если абонент находится в движении, а также обслуживается в зонах с неравномерным рельефом или густой застройкой. Но GSM появился раньше, был выбор готовых решений как операторского оборудования, так и потребительского. Более совершенный CDMA требовал больших вычислительных мощностей как базовых станций, так и клиентских терминалов; создания новых решений для менее распространенной технологии (например, CDMA аппараты стоили дороже своих GSM-аналогов и были с ними не совместимыми). Эти причины привели к тому, что распространение и наилучшее покрытие на территории Европы и РФ получил стандарт GSM. Поэтому в настоящее время при проектировании РОСА использование иных стандартов является нецелесообразным.

Опишем кратко технологию использования указанных РОСА.

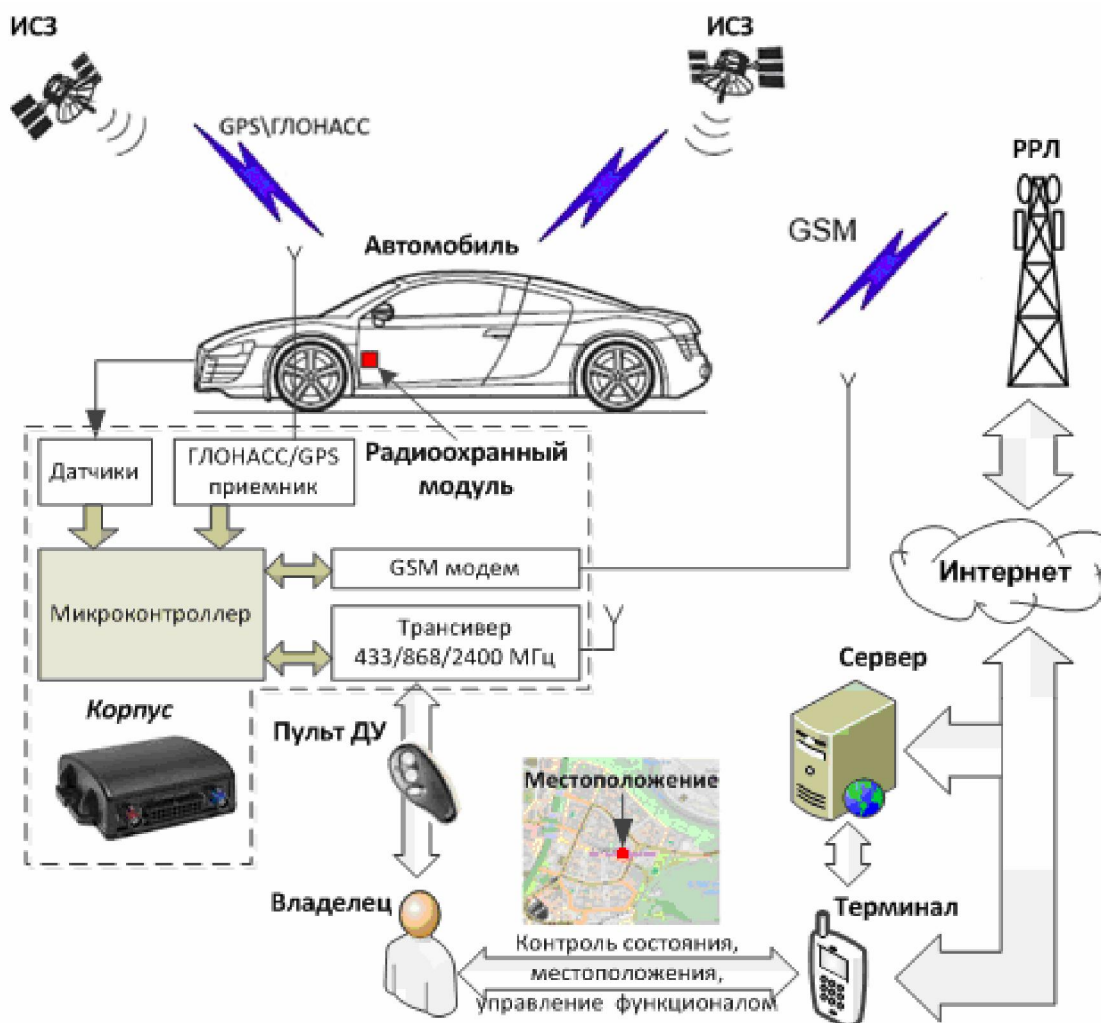


Рис. 3. Схема современной РОСА

Владелец ставит автомобиль на охрану посредством пульта дистанционного управления в виде брелока-метки, работающего на частотах приема-передачи 433 / 868 / 2400 МГц. Внутри автомобиля устанавливается модуль РОСА, ядром которого является микроконтроллер. Он принимает и обрабатывает данные от датчиков и GPS приемника. Телеметрия и данные о местонахождении передаются посредством GSM модема через сеть Интернет на сервер или непосредственно на терминал владельца (смартфон, КПК, компьютерный планшет). Проверить местонахождение объекта можно в любой момент времени, а в случае угона – вести непрерывное отслеживание его положений. При этом ключевым вопросом является разработка модуля РОСА, удовлетворяющего жестким требованиям по энергопотреблению, массогабаритным и ценовым показателям.

**Инженерная методика.** Предлагается методика проектирования РОСА на основе использования технологии GPS / ГЛОНАСС, GSM и Интернет. Методика должна также предусматривать оценку конечного изделия (модуля РОСА) на соответствие заданным требованиям по механической прочности, тепловому режиму работы, электромагнитной совместимости. Эта методика позволяет инженеру проектировать бортовую РОСА по задан-

ным техническим требованиям и условиям. На рисунке 4 представлена IDEF0 – диаграмма для этой методики, построенная в ПО Microsoft Visio. Символом «молния» показаны результаты использования различных программных средств (САПР).

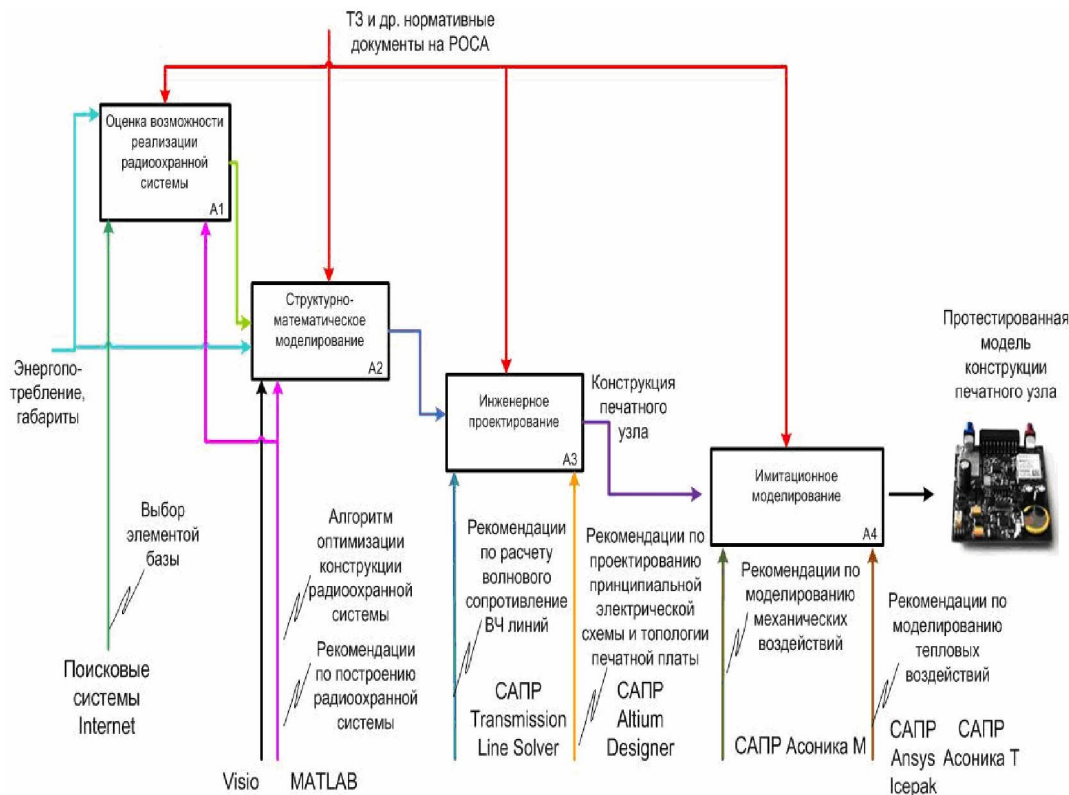


Рис. 4. IDEF0– диаграмма инженерной методики проектирования бортовой РОСА

Исходными данными для проектирования являются техническое задание (ТЗ) и технические условия (ТУ) на бортовую РОСА.

Методика включает четыре этапа: (1) оценка возможности реализации РОСА для заданных требований; (2) структурно-математическое моделирование; (3) инженерное проектирование модуля РОСА; (4) имитационное моделирование конструкции печатного узла.

На первом этапе проводится принципиальная оценка возможности реализации бортовой РОСА при заданных в техническом задании (ТЗ) ограничениях и характеристиках доступной элементной базы. При этом учитываются показатели электронных компонентов в части соответствия требованиям по энергопотреблению и массогабаритным характеристикам, а также по надежности и стоимости. Основные требования предъявляются к модулю РОСА, но не к пульту.

В случае положительного завершения этапа 1 проводится структурно-математическое моделирование РОСА (этап 2) с использованием программы Visio (для построения структурных схем) и среды математического моделирования MATLAB (Optimization Toolbox) для расчета элементов структуры, их связей, комбинаций и параметров. Затем решается задача многокритериальной оптимизации по заданным параметрам и ограничениям. На 3-ем этапе (инженерного проектирования) разрабатывается электрическая принципиальная схема и топология печатной платы (ПП) модуля РОСА с использованием САПР Altium Designer. Расчет волнового сопротивления высокочастотных линий осуществляется в САПР Polar Si9000 PCB Transmission Line Solver или AppCAD. Затем на этапе 4 (имитационного моделирова-

ния) конструкция печатного узла модуля РОСА проверяется на тепловые воздействия (в САПР Ansys Icerak или Асоника Т) и механические – в САПР Асоника М. Результатом использования методики является протестированная на различные виды воздействий модель конструкции печатного узла.

Рассмотрим эти этапы несколько более подробно.

*Этап 1.* Элементная база для модуля РОСА представляет собой набор микросхем и их «обвязку», а именно следующие объекты: микроконтроллер, Flash память, ГЛОНАСС / GPS приемник, GSM модем, трансивер, акселерометр, CAN драйвер, DC-DC преобразователь, антенны [9]. Структура модуля РОСА и алгоритм выбора оптимальной элементной базы представлены на рисунке 5. Заливкой показаны элементы, расположенные непосредственно на проектируемой печатной плате. Основным элементом является микроконтроллер, реализующий алгоритмы работы РОСА. К нему подключаются датчики, приемо-передающие и навигационные модули. Телеметрическая информация о скорости движения, состоянии цепи зажигания, дверей и пр. в микроконтроллер поступает через шину CAN. Для сопряжения с ней необходима микросхема драйвера интерфейса, которая представляет собой двунаправленный приемопередатчик для согласования уровней сигналов между шиной и CAN интерфейсом микроконтроллера. Flash-память нужна для сохранения параметров конфигурации системы, запоминания треков передвижения и данных телеметрии. ГЛОНАСС / GPS приемник состоит из антенны, приемного модуля и вычислителя. Причем антенна может быть как внешней, так и внутренней – в виде топологии РСВ или отдельного элемента [15]. Вычислитель определяет местоположение объекта и передает данные географических координат микроконтроллеру. GSM модем содержит приемопередающий модуль и антенну [16]. С внешней антенной он сопрягается через разъем. Передатчик радиоканала метки 433 / 868 / 2400 МГц представляет собой трансивер и также снабжается антенной. Акселерометр необходим для определения ударной нагрузки в случае столкновения или удара по автомобилю. В общем случае целесообразно использование трехкоординатного датчика-акселерометра. Для обеспечения микросхем модуля РОСА питанием от автомобильного аккумулятора с постоянным напряжением 10–48В применяются DC-DC преобразователи. «Обвязка» микросхем, состоящая из пассивных R, L, C компонентов и транзисторов, выполняется в соответствии с их спецификациями.

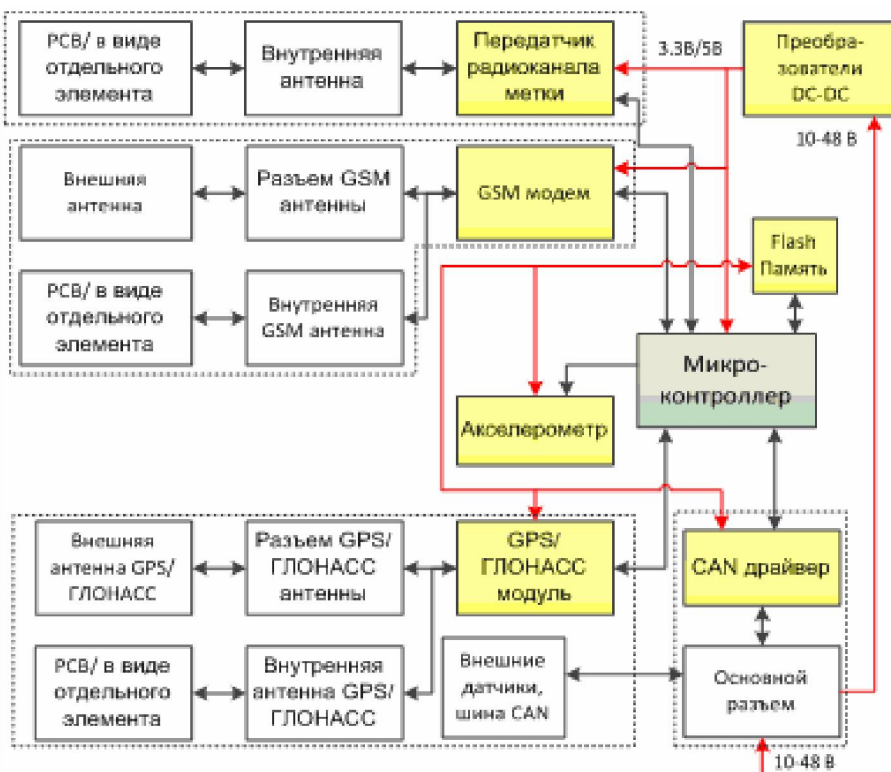
При выборе элементной базы следует рассматривать преимущественно компоненты с SMT / SMD монтажом, которые существенно экономят место на ПП и упрощают технологию сборки. Корпуса типа DIP имеет смысл использовать только, если нет иных альтернатив. По условиям эксплуатации печатный узел модуля РОСА следует изготавливать по 2-ому классу жесткости и с учетом климатических воздействий по ГОСТ 23752-79 (от –40 до +85 °С). При выборе следует также учитывать потребляемую элементом мощность, занимаемую на печатном узле площадь и стоимость. Высотой микросхем и их массой можно пренебречь, так как они являются достаточно плоскими и легкими. Поскольку в спецификациях на элементы приводятся только типы корпусов и потребляемые токи в различных режимах работы, введем формулы для грубого расчета площади  $S$  корпуса с контактными выводами и грубой оценки потребляемой мощности в режиме непрерывной работы ( $P$ ):

$$S = D \times Ш \text{ [мм}^2\text{]}, \quad (1)$$

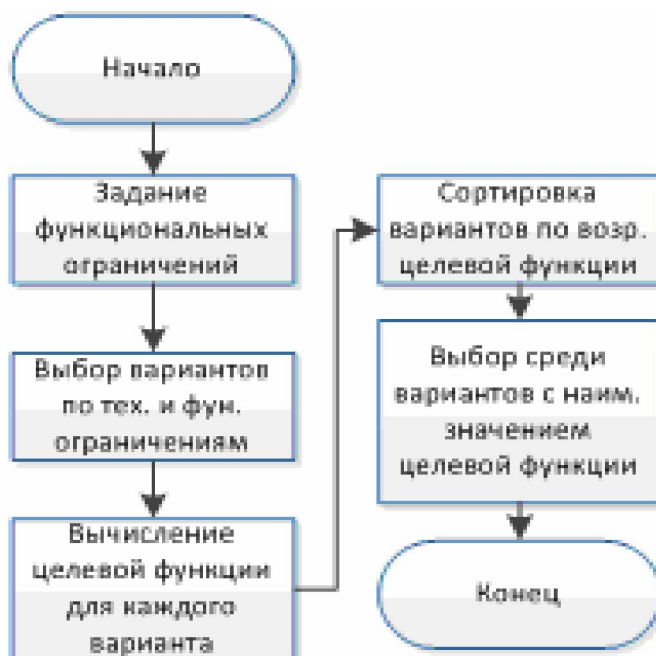
где  $D$  и  $Ш$  – длина и ширина корпуса [мм] соответственно;

$$P = (U_{\min} + U_{\max}) \times (I_{\min} + I_{\max}) \times 0,25 \text{ [мВт]}, \quad (2)$$

где  $(U_{\min}; U_{\max})$  [В] и  $(I_{\min}; I_{\max})$  [мА] – диапазоны напряжений питания и токов потребления в режиме непрерывной работы соответственно.



а)



б)

Рис. 5. Структура модуля РОСА (а) и алгоритм выбора оптимальной элементной базы (б)



*Эман 2.* В соответствии с алгоритмом на рисунке 3б проводится выбор оптимальных электронных компонентов для структуры на рисунке 3а по критериям, соответствующим ТЗ и ТУ.

В общем виде система состоит из  $N$  модулей  $M^1, \dots, M^N$  с  $n$  параметрами  $P^1, \dots, P^n$ , из которых  $P^{k_1} \succ P^{k_2} \succ \dots \succ P^{k_n}$  являются ключевыми в порядке приоритета. Каждый модуль выбирается из множества вариантов:  $M_{j_i}^i \in V^i = \{M_1^i, \dots, M_{L_i}^i\}$  и каждому варианту модуля  $M_{j_i}^i \in V^i$  соответствуют наборы  $F_{i,j_i} = (F_{i,j_i}^1, \dots, F_{i,j_i}^m) \in \{0,1\}^m$  и  $P_{i,j_i}, \dots, P_{i,j_i}^n$ . Здесь  $F_{i,j_i}^k = 1$  тогда и только тогда, когда  $j_i$  вариант  $i$ -ого модуля обладает  $k$ -ой функцией. В соответствие с алгоритмом рисунка 3б получаем аффинную целевую функцию  $T$ , которую требуется минимизировать ( $\rightarrow \inf$ ):

$$T = \langle \mathbf{a}, P \rangle + b = \left[ \sum_{k=1}^n a^k (L_1 \cdot \dots \cdot L_N) \frac{P^k}{\sum_{i,j} P_{i,j}^k} + b \right] \rightarrow \inf, \quad (3)$$

где  $\mathbf{a} = (a^1, \dots, a^n)$  – набор «весов» параметров (чувствительность целевой функции) задаётся с помощью экспертной оценки, причём  $a^k > 0 \forall k$ ,  $a^{k_1} \geq a^{k_2} \geq \dots \geq a^{k_n}$ ,  $b \geq 0$ ,  $L_1 \cdot \dots \cdot L_N$  – нормирующие коэффициенты параметров.

Накладываем ограничения на интегральные значения параметров:

$$B_k(P^k) \leq Q^k, \quad k \in \{1, \dots, n\}. \quad (4)$$

Выбором соответствующих функций  $B_k$  можно задавать различные ограничения – «жёсткие» (типа неравенств) или «мягкие» (типа штрафных функций). В результате получаем оптимальный по заданным критериям перечень элементной базы или сообщение, что она не может быть подобрана при заданных ограничениях.

*Эман 3.* В САПР Altium Designer разрабатывается принципиальная электрическая схема. На ее основе проектируется ПП, готовится документация на модуль РОСА для подготовки производства его печатного узла. Сначала создается библиотека элементов, входящих в принципиальную электрическую схему и ПП. Каждый элемент такой библиотеки содержит условное графическое обозначение (УГО) для принципиальной электрической схемы (файл \*.SchLib) и посадочное место (footprint) на ПП (файл \*.PcbLib). Эти данные можно найти на сайте производителя компонента или в его спецификациях (datasheet), которые обычно доступны через Интернет.

Затем, при готовности библиотеки для всех элементов, создается принципиальная электрическая схема устройства. Далее формируется проект ПП, в которую все элементы библиотеки вносятся автоматически (каждому УГО элемента на принципиальной электрической схеме соответствует выбранное посадочное место на ПП). После проведения расстановки элементов выполняется и их соединение дорожками печатных проводников. Правильность соединений, оптимальности расположения печатных проводников обеспечивается средствами среды Altium Designer. Расчет волнового сопротивления ВЧ линий проводится (как уже говорилось) в AppCAD или Polar PCB Transmission Line Solver. В соответствии с результатами этого расчета может быть скорректирована топология печатных проводников (т.е. возможен возврат к этапу расчета их расположения в Altium Designer).

Таким образом, в результате проектирования в среде Altium Designer создаются файлы принципиальной электрической схемы (\*.SchDoc) и топологии ПП (\*.PcbDoc). Из них генерируется текстовый файл формата Gerber, представляющий собой способ описания проекта ПП для

изготовления фотошаблонов (обычно – для реализации фотолитографических процессов) при изготовлении печатных плат на самом разнообразном оборудовании. Указанный подход является общепринятым стандартом передачи проекта в электронной форме производителю ПП.

*Этап 4.* Для проведения теплового численного моделирования готовый проект ПП в Altium Designer (\*.PcbDoc) конвертируется в формат STEP или IDF, содержащий геометрию платы и расположение совокупности элементов – для взаимодействия с ПО Ansys Iserpak. Затем в среде Iserpak создается модель для проведения анализа теплового режима работы печатного узла. Затем рассчитываются данные по перегреву компонентов для заданного режима работы устройства, крайних (начальных и граничных) условий. Ansys Iserpak позволяет анализировать стационарный и нестационарный тепловые режимы аппаратуры, работающей при естественной и вынужденной конвекциях в воздушной среде; при нормальном и пониженном давлениях. Последний вариант может быть актуальным для условий использования разработкой в высокогорье.

Для проведения в САПР Асоника-М [10] численного моделирования механических воздействий (статической прочности и динамического поведения конструкции), также как и в случае с тепловым моделированием, необходимо осуществить импорт геометрии ПП с элементами. Формат импорта зависит от используемой среды моделирования, но большинство программных средств допускают импорт в универсальном формате \*.sat или \*.iges. Далее задаются механические нагрузки (статические) или режимы изменения динамических нагрузок. В ходе моделирования получают поля напряжений и деформаций для заданной конструкции ПП и элементов, размещенных на ней.

По результатам этих расчетов делаются выводы о соответствии расчетных напряжений тому, что может выдержать ПП и размещенные на ней элементы. Если деформации оказываются чрезмерно большими (например, могут угрожать целостности печатных проводников, надежности паяных соединений и пр.), то следует возврат к одному из предыдущих этапов проектирования. Особую опасность могут представлять повторяющиеся знакопеременные нагрузки – например, связанные с движением автомобиля по неровной дороге.

**Пример практической реализации методики.** Требования ТЗ по назначению (функциональным возможностям): РОСА должна обеспечивать защиту автомобиля от угона, вскрытия и повреждения; передачу телеметрии и местоположения через сеть Интернет пользователю. Модуль РОСА предназначен для установки на автомобильные транспортные средства категорий М (пассажирские) и N (грузовые). Модуль должен быть реализован на плате с габаритами не более 140 мм × 80 мм. Суммарная стоимость элементной базы не должна превышать 10000 руб.

Вибрационные требования по ГОСТ [5] на воздействия ударов в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений при следующих значениях воздействующих факторов:

- пиковое ударное ускорение – до 98 м / с (10g);
- частота повторения ударов – не более 80 ударов / мин.;
- длительность ударов – от 5 до 15 мс (предпочтительно – 10 мс);
- максимальное число ударов подряд по каждому направлению – 333 (при общем числе ударов не более 1000 за время не менее 12,5 мин.);
- обеспечение устойчивости модуля РОСА к воздействию одиночных механических ударов с ускорением 75g.

По тепловому режиму работы, в соответствии с ГОСТ Р 54618-2011 [5], блоки автомобильной электроаппаратуры должны функционировать при температурах от «-40 °С» до «+85 °С». Корпуса функционально законченных блоков должны соответствовать ГОСТ 14254 IP 52 (для всех составных частей автомобильной системы, изготовленных в корпусном исполнении) и IP 67 (только для датчиков автоматической идентификации дорожно-

транспортных происшествий, исполненных в качестве самостоятельной составной части, входящей в состав автомобильной системы). В ГОСТ 15150-69 [12] указываются расширенные температурные диапазоны для различных климатических исполнений оборудования и входящих в него самостоятельных составных частей. Они могут быть учтены в рамках разработанной методики.

При уровне электромагнитного воздействия (ЭМВ) 100 В / м в частотном диапазоне от 1 МГц до 2 ГГц электрооборудование транспортного средства [11] должно работать нормально. Другие системы должны нормально функционировать как минимум при ЭМВ до 30 В / м, и до 100 В / м не должны выходить из строя. Проектируемая бортовая автомобильная электроника должна устойчиво работать при уровнях электромагнитных воздействий до 40–50 В / м в условиях свободного поля. Должна быть предусмотрена защита модуля РОСА от электростатического разряда.

*Этап 1.* Был проведен поиск электронных компонентов. Согласно методике в каждом классе было отобрано примерно по 5–7 компонентов [6, 7, 9]. Реализация по требованиям ТЗ и ТУ оценена как положительная, то есть требования не выходят за рамки возможностей существующей элементной базы. Поэтому реализация данной системы технически возможна.

*Этап 2.* Система состоит из 8 компонентов  $M^1, \dots, M^8$  с 3-мя ключевыми параметрами  $P^{k_1}, P^{k_2}, P^{k_3}$ , соответствующими потребляемой мощности  $P$  [мВт], площади ПП  $S$  [мм<sup>2</sup>] и цене [руб.]. Каждый компонент элементной базы выбирается из 6 вариантов:  $M_j^i \in V^i = \{M_1^i, \dots, M_6^i\}$  [9]. Значения весовых коэффициентов  $\mathbf{a} = (a^1, a^2, a^3)$  целевой функции задаются с энтропией  $a^1 = 0,5, a^2 = 0,3, a^3 = 0,2$ . В результате оптимизации по алгоритму на рисунке 3б и формулам (3) и (4) была выбрана следующая элементная база для модуля РОСА (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика выбранной элементной базы**

Мо- дуль	Тип, производитель, наименование, характеристики	$S$ , мм <sup>2</sup>	$P$ , мВт	Цена, руб.
$M^1$	Микроконтроллер, Microchip, dsPIC33EP256MU806, 140 МГц, 16-Бит, PQFP64	174	231	500
$M^2$	Flash память, Microchip, SST25VF032B	30	30	117
$M^3$	ГЛОНАСС / GPS приемник, Навиа, ML8088sE	195	333	1297
$M^4$	GSM модем, Quectel, M66, GSM / GPRS+ sim holder (держатель sim карты для gsm модуля).	279,7	1580	500
$M^5$	Трансивер Silicon Lab, Si4461, 142–1050 МГц	16	116	290
$M^6$	Акселерометр, ST Microelectronics, LIS331DLH, $\pm 2 \text{ g} / \pm 4 \text{ g} / \pm 8 \text{ g}$ , SPI/I2C	9	0,72	780
$M^7$	CAN драйвер, Microchip, MCP2562, высокоскоростной, SO-8 Никаких разъемов, CAN или внешних подключений к автомобилю нет, это полностью автономный блок.	30	350	75
$M^8$	DC-DC преобразователь, Texas Instruments, TPS54361-Q1	16	93	420

*Этап 3.* Электрическая принципиальная схема, топология печатной платы и внешний вид печатного узла разработанного автором модуля РОСА представлены на рисунках 6 и 7.

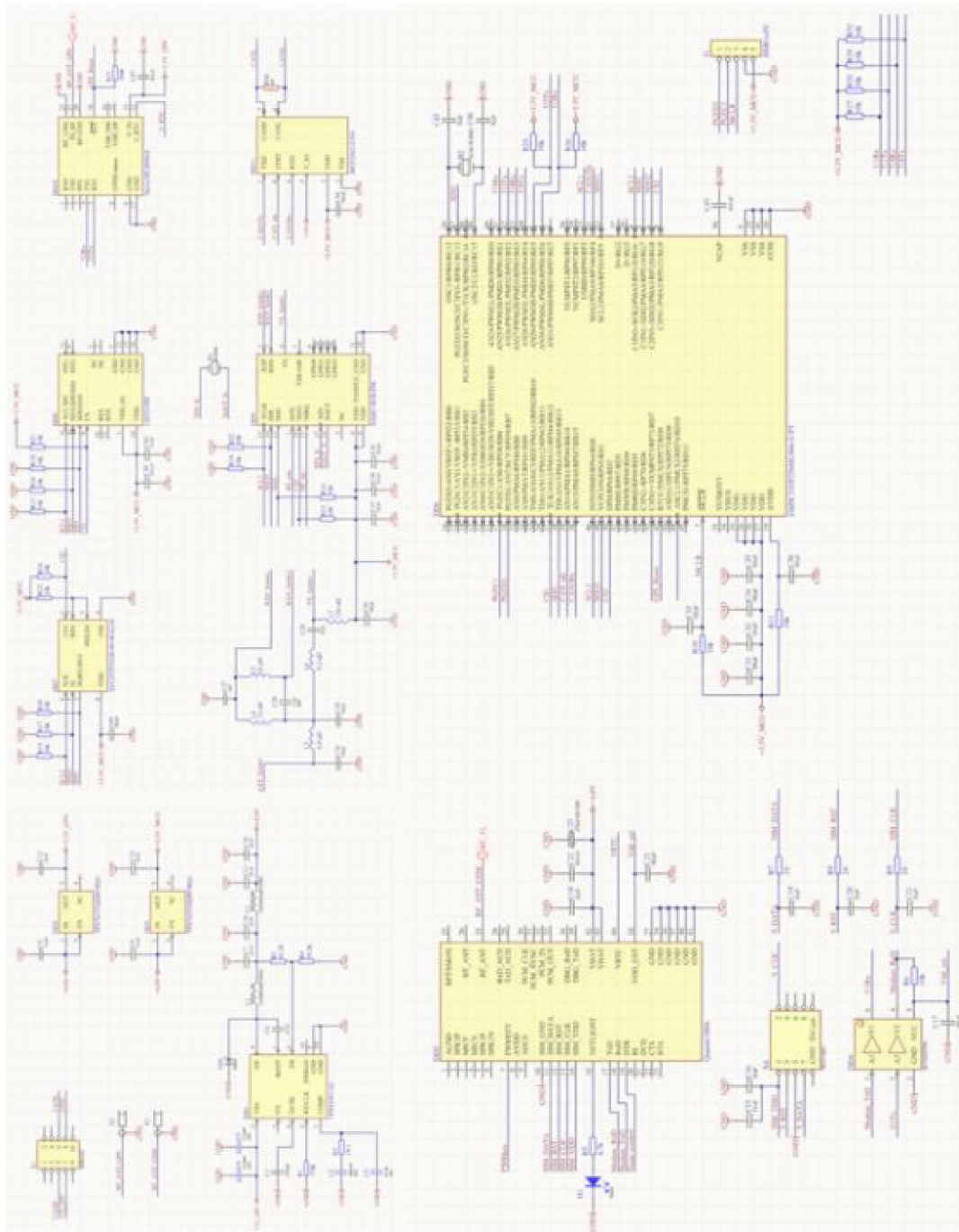
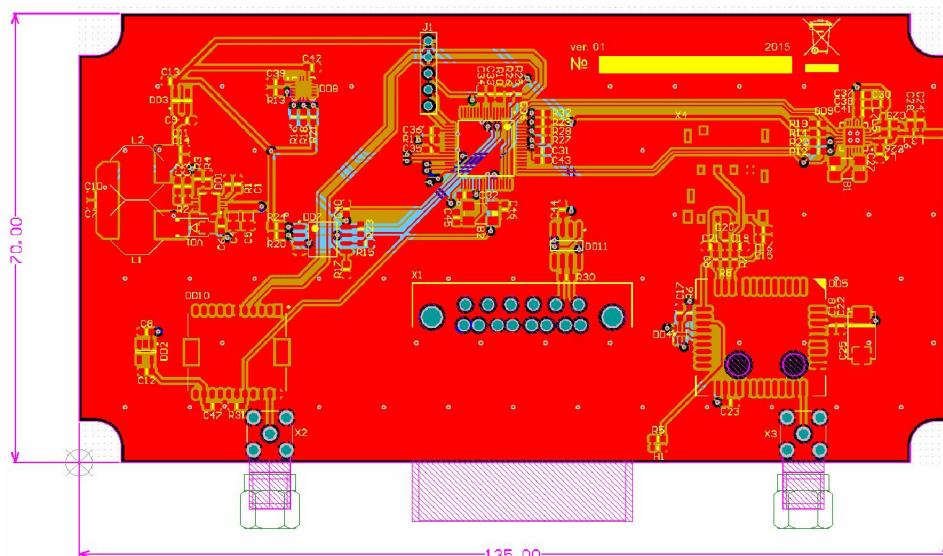
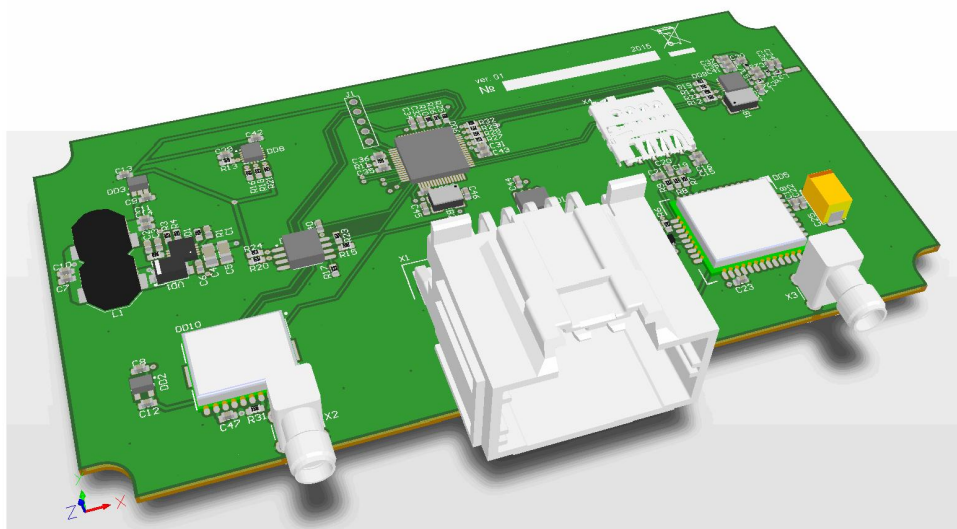


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная модуля РОСА (обозначения расшифрованы в тексте)

На рисунке 6 использованы следующие обозначения: DD1 – импульсный преобразователь напряжения; DD2 и DD3 линейные преобразователи напряжения; DD4 – буфер для согласования уровней сигнала GSM модема; DD5 – GSM модем; DD6 – микроконтроллер; DD7 – Flash-память; DD8 – акселерометр; DD9 – трансивер; DD10 – GPS приемник; DD11 – CAN драйвер. Для подключения внешних антенн GPS и GSM модулей используются ВЧ разъемы стандарта SMA. Для подключения к CAN шине автомобиля и питания от бортовой сети автомобиля используется разъем Molex 34696-9100.



а)



б)

Рис. 7. Топология ПП (а) и внешний вид печатного узла (б) модуля РОСА

Схема реализована на многослойной (4 слоя) печатной плате размерами 135 мм × 70 мм из стеклотекстолита стандарта FR4, толщиной 1,5 мм. Такое решение для печатной платы с одной стороны позволяет реализовать топологию с учетом рекомендаций по ЭМС [7] (за счет использования дополнительных экранных слоев), с другой – разместить заказ на территории РФ (что снижает конечную стоимость печатной платы). Частотные диапазоны, задей-

ствованные в схемотехнических решениях непосредственно на ПП – до 50 МГц. Специализированные микросхемы работают на таких частотах: трансивер 868 МГц; GSM модем от 900 до 2500 МГц; навигационный приемник 1500–1600 МГц.

*Этап 4.* Для приближения к реальным условиям эксплуатации при моделировании печатный узел был «размещен» в специально созданном в САПР Solidworks и импортированном в Ansys пластиковом корпусе размерами 140 мм × 75 мм. Он показан на рисунке 8. Все моделирование проводилось при условии использования установленной сверху крышки корпуса. На рисунке 8 она скрыта, чтобы показать упрощенную модель ПП для теплового анализа.

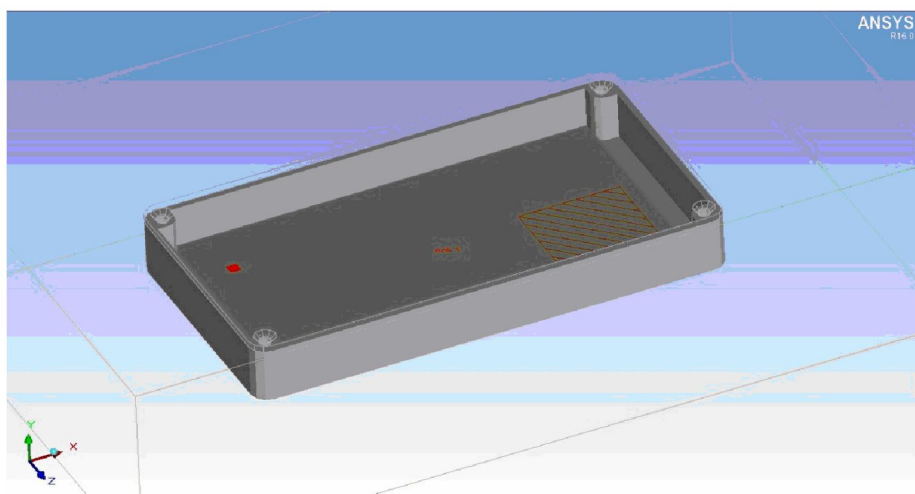


Рис. 8. Пластиковый корпус с «размещенной» в нем моделью печатного узла модуля РОСА. Модель представлена в упрощенном (плоском) виде

Штриховкой на упрощенной модели обозначены места расположения основных тепловыделяющих компонентов печатной платы: DD1 – импульсного преобразователя напряжения и DD5 – GSM модема, работающего в непрерывном режиме передачи данных.

В САПР Ansys Icerak было проведено численное тепловое моделирование печатного узла модуля РОСА при температурах окружающей среды от –10 до +40 °С (рис. 9).

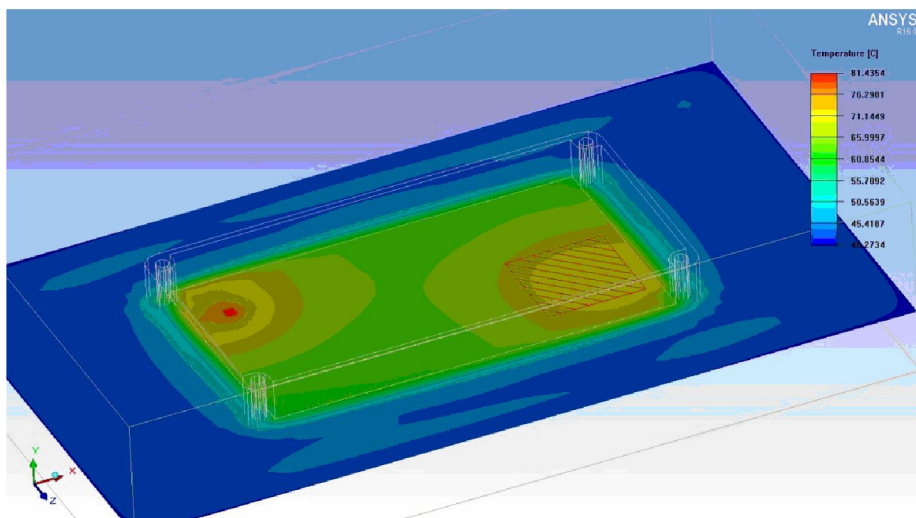


Рис. 9. Пример результатов теплового моделирования модуля РОСА при температуре окружающего воздуха 40 °С и атмосферном давлении 101325 Па (1 атм.)

Результаты расчетов показали, что температурные режимы модуля при всех допустимых сочетаниях температуры воздуха и его давления находятся в допустимых пределах. Место максимального нагрева платы – импульсный преобразователь. Его температура на 15 °С больше по сравнению с температурой печатной платы из-за малой площади микросхемы и как следствие, контакта с печатной платой. Однако данные значения укладываются в условия работы, описанные в документации к микросхеме.

Итак, сделаем **выводы**.

1. Предложенная методика позволяет инженеру спроектировать бортовую РОСА по заданным техническим требованиям с применением популярных САПР и математического аппарата, основанного на теории исследования операций. Кроме того, методика дает возможность исследования эксплуатационных «показателей» модуля РОСА при различных условиях – на основе использования имитационного моделирования.

2. При разработке РОСА по данной методике могут быть учтены специальные эксплуатационные требования, которыми предлагаемые на рынке РОСА обладают не в полном объеме.

3. С использованием предлагаемой методики возможна разработка охранных систем и не для автомобильного транспорта (например, водного). При этом в полной мере может быть учтена специфика эксплуатации таких мобильных объектов в России.

4. С применением предложенной методики спроектирована бортовая РОСА, соответствующая требованиям ТЗ как по назначению и массогабаритным параметрам, так и по устойчивости к электромагнитным, механическим, тепловым воздействиям. Модуль РОСА имеет размеры печатного узла 135 мм × 70 мм, а суммарное среднее энергопотребление элементной базы в его составе – около 2,7 Вт. Суммарная стоимость элементной базы устройства (по ценам середины сентября 2015 г.) составляет около 5000 руб., стоимость производства печатной платы при серийном выпуске – порядка 2000–3000 руб. Поэтому оценка итоговой стоимости разработанного модуля по уровням цен на 15.09.2015 г. находится в пределах 7500–8000 руб. Это приемлемо для владельцев автомобилей даже нижнего и среднего ценового уровня. Отметим, что аналогичные по функциональности системы, предлагаемые на рынке, относятся к более высокому ценовому уровню. Их стоимости (для той же даты) составляли от 10000 руб. и выше.

5. Приближенное к реальным условиям эксплуатации моделирование показало, что устройство будет работать в допустимых пределах по тепловому режиму, соответствующих требованиям ГОСТ [4].

#### Список литературы

1. Аминев Д. А. Топологическая тепловая модель пары «электронный компонент-термодатчик» / Д. А. Аминев, А. И. Манохин, А. Н. Семенов, С. У. Увайсов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1 (29). – С. 146–155.

2. Брейман А. Д. Инфо-логическое проектирование баз данных на основе кинематического подхода / А. Д. Брейман // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 115–126.

3. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 169–180.

4. ГОСТ Р 50905-96. Автотранспортные средства. Электронное оснащение. Общие технические требования. – Введен 1997-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1996. – 17 с.

5. ГОСТ Р 54618-2011. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний автомобильной системы / устройства вызова экстренных оперативных служб на соответствие требованиям по электромагнитной совместимости, стойкости к климатическим и механическим воздействиям. – Введен 2012-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 28 с.

6. Кандырин Ю. В. Структурирование вариантов в электронных справочных системах выбора / Ю. В. Кандырин, В. А. Камаев, М. Е. Кононов, Г. Л. Шкурина // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 2 (30). – С. 93–104.
7. Кечиев Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л. Н. Кечиев. – Москва : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
8. Колганов А. А. Автомобильные охраняемые системы. История, состояние и перспективы / А. А. Колганов // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции учащихся и студентов // под ред. Ю. А. Романенко, Н. А. Анисинкиной, С. Г. Воеводиной. – Протвино : Управление образования и науки, 2013. – Ч. 2. – С. 791–794.
9. Колганов А. А. Анализ элементной базы для реализации современной автомобильной радиохранной системы / А. А. Колганов, И. Ю. Лисицын // Качество. Инновации. Образование. – 2015. – № 8. – С. 36–44.
10. Кофанов Ю. Н. Автоматизированная система АСОНИКА в проектировании радиоэлектронных средств : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Кофанов. – Москва : Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2012. – 58 с.
11. Николаев П. А. Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию / П. А. Николаев // Технологии ЭМС. – 2014. – № 4. – С. 72–75.
12. Приложение 1 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 // Минкомсвязь России. – Режим доступа: [http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id\\_4=302](http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id_4=302) (дата обращения: 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Приложение 3 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001. Устройства охранной радиосигнализации. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20070619163831OU.doc> (дата обращения 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Приложение 13 к решению ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001. Телематические устройства на транспорте. – Режим доступа: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20080625085835Jg.doc> (дата обращения: 10.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Aminev D. Recommendations for the choice of antenna transceivers of decentralized self-organizing networks / D. Aminev, R. Azizov, S. Uvaysov // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий : материалы Международной научно-технической конференции / отв. ред. И. А. Иванов; под общ. ред. С. У. Увайсова. – Москва : Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2013. – С. 480–481.
16. Kolganov A. GSM modules in energy efficient M2M-systems / A. Kolganov, A. Sviridov // Innovative information technologies : materials of the International scientific-practical conference. – 2014. – Part 3. – P. 333–337.

#### References

1. Aminev D. A., Manokhin A. I., Semenenko A. N., Uvaysov S. U. Topologicheskaya teplovaya model' pary «elektronnyy komponent-termodatchik» [Topological thermal model of the couple electronic component-sensor]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Tekhnologies], 2015, no. 1(29), pp. 146–155.
2. Breyman A. D. Infologicheskoe proektirovanie baz dannykh na osnove kinematischeskogo podkhoda [Infological database design using kinematics-based approach]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Tekhnologies], 2014, no. 2 (26), pp. 115–126.
3. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [The models and methods analysis of optimum choice for decisions sets in conditions of resources restrictions and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Tekhnologies], 2013, no. 3 (23), pp. 169–180.
4. GOST 50905-96. Road vehicles. Electronic equipment. General techn-cal requirements. Introduced 1997–07–01. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1996. 17 p.
5. GOST R 54618-2011. Global Navigation Satellite System. The system of extra-response in case of accidents. Methods of test for automotive systems / devices call the ex-friction operational services to



meet the requirements for electromagnetic compatibility, resistance to climatic and mechanical influences. Introduced 2012–09–01. Moscow, Standardinform Publ., 2012. 28 p.

6. Kandyrin Yu. V., Kamaev V. A., Kononov M. Ye., Shkurina G. L. Strukturirovanie variantov v elektronnykh spravochnykh sistemakh vybora [Structuring options in electronic reference systems of choice]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 2 (30), pp. 93–104.

7. Kechiev L. N. *Proektirovanie pechatnykh plat dlya tsifrovoy bystrodeystvuyushchey apparatury* [Design of printed circuit boards for high-speed digital hardware], Moscow, OOO «Gruppa IDT» Publ., 2007. 616 p.

8. Kolganov A. A. Avtomobilnye okhrannye sistemy. Istoriya, sostoyanie i perspektivy [Car security systems. History, current state and prospects]. *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii uchashchikhsya i studentov* [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Pupils and Students], Protvino, Upravlenie obrazovaniya i nauki Publ., 2013, part 2, pp. 791–794.

9. Kolganov A. A., Lisitsyn I. Yu. Analiz elementnoy bazy dlya realizatsii sovremennoy avtomobilnoy radiookhrannoy sistemy [Analysis of components for the implementation of modern automotive systems radiosecurity]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education], 2015, no. 8, pp. 36–44.

10. Kofanov Yu. N. *Avtomatizirovannaya sistema ASONIKA v proektirovanii radioelektronnykh sredstv* [Automated system ASONIKA in the design of electronic tools], Moscow, Moscow Institute of Electronics and Mathematics Publ. House, 2012. 58 p.

11. Nikolaev P. A. Ustoychivost avtomobiley k elektromagnitnomu vozdeystviyu [Vehicle Stability to electromagnetic interference]. *Tekhnologii EMS* [Technologies of EMC], 2014, no. 4, pp. 72–75.

12. Prilozhenie 1 k resheniyu GKRCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001 [Application 1 to the decision of the SCR by May 7, 2007 no. 07-20-03-001]. *Minkomsvyaz Rossii* [Russian Ministry of Communications]. Available at: [http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id\\_4=302](http://minsvyaz.ru/ru/doc/?id_4=302) (accessed: 10.10.2014).

13. Prilozhenie 3 k resheniyu GKRCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001. *Ustroystva okhrannoy radiosignalizatsii* [Application 3 to the decision of the SCR on May 7, 2007 no. 07-20-03-001. Radiosignalizatsii security devices]. Available at: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20070619163831OU.doc> (accessed: 10.10.2014).

14. Prilozhenie 13 k resheniyu GKRCh ot 7 maya 2007 g. № 07-20-03-001. *Telematicheskie ustroystva na transporte* [Application 13 to the SCR decision of 7 May 2007 no. 07-20-03-001. Telematics devices for transport]. Available at: <http://minsvyaz.ru/common/upload/docs/20080625085835Jg.doc> (accessed: 10.10.2014).

15. Aminev D., Azizov R., Uvaysov S. Recommendations for the choice of antenna transceivers of decentralized self-organizing networks. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Innovations Based on Information and Communication Technologies. Proceedings of the International Scientific Conference], Moscow, Moscow Institute of Electronics and Mathematics Publ. House, 2013, pp. 480–481.

16. Kolganov A., Sviridov A. GSM modules in energy efficient M2M-systems. *Innovative information technologies. Materials of The International Scientific-Practical Conference*. 2014, part 3, pp. 333–337.

## **USING CONNECTIONIST METHODS IN THE DIAGNOSIS OF NETWORKED CONTROL SYSTEMS: APPLICATION TO THE OPERATION OF A WIND TURBINE**

*Article came to edition 12.09.2015, in a final version – 22.09.2015.*

**KODJO Koffi Mawugno**, Associate Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Maitre Assistant, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé (TOGO), e-mail: [rig\\_kodjo@yahoo.fr](mailto:rig_kodjo@yahoo.fr)

**AJAVON Ayité Sénah Akoda**, Associate Professor, National High School of Engineers, University of Lomé (Maitre de Conférences, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé), BP 1515 Lomé, Togo, e-mail: [senajavon@hotmail.com](mailto:senajavon@hotmail.com)