

С. В. Михайлов¹, Н. И. Пальгин¹, В. В. Никитин¹, И. П. Филюшкин¹

¹ АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОПЛАТНОЙ ЭВМ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО ЯДРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ СОВРЕМЕННЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены проблемные моменты эксплуатации навигационных комплексов в составе подвижного объекта. Показан вариант реализации комплекса навигации в виде программно-аппаратной системы, позволяющий использовать в качестве вычислителя бортовой вычислительный комплекс (БВК) объекта. Приведена информация о компактных электронно-вычислительных машинах (ЭВМ), технические возможности которых реализованы на одной печатной плате. Предложена структура комплекса навигации при использовании одноплатной ЭВМ в качестве сервера. Представлен принцип подключения одноплатного вычислителя к бортовой сети объекта с помощью модулей преобразования электропитания. Описаны задачи, решаемые функциональным программным обеспечением, установленным на одноплатный компьютер. Рассмотрены преимущества использования одноплатной ЭВМ вместо стационарных вычислителей. Показано, что применение одноплатной ЭВМ позволит взаимодействовать с навигационным комплексом с любого рабочего места объекта, уменьшить вычислительную нагрузку на бортовой вычислитель до 10% и не перегружать его навигационными задачами.

Ключевые слова: программно-аппаратная система, сервер, функциональное программное обеспечение

Введение

Состав и структура современных комплексов навигации и ориентирования предполагают в своем составе, помимо датчиков информации, элементы, выполняющие роль органов индикации и управления. Если поступающую в БВК необходимую навигационную информацию дублируют на экранах автоматизированных рабочих мест (АРМ), то управление навигационным комплексом через бортовой вычислитель не всегда возможно, поскольку большинство существующих комплексов навигации используют протокол взаимодействия с односторонней выдачей в БВК. При этом задание необходимых параметров работы навигационного комплекса возможно лишь с элемента управления, входящего в его состав. Кроме того, большой объем данных со всех применяемых на подвижном объекте устройств и систем может существенно нагружать бортовой вычислитель и требовать увеличения технических параметров и характеристик бортовой ЭВМ для адекватной обработки информации без критичной задержки по времени, что влечет за собой дополнительные финансовые расходы. Учитывая вышеизложенное, при разработке и создании

навигационных комплексов целесообразно применять новые технологические решения, позволяющие компенсировать описанные недостатки.

На рис. 1 показан вариант построения навигационного комплекса в виде программно-аппаратной системы. Концепция построения комплексов ориентирования и навигации подвижных наземных объектов с подробным описанием составных элементов предлагаемого варианта системы приведена в работе [1].

Такая структура с помощью разработанного авторами функционального программного обеспечения (ФПО) позволяет использовать в качестве вычислителя БВК объекта, тем самым осуществляя полноценное управление навигационным комплексом со штатного рабочего места изделия. В качестве устройства индикации в этом случае выступает видеомонитор АРМ объекта.

Тем не менее приведенная структура не решает проблемы загруженности БВК. Для распределения вычислительной нагрузки необходим дублирующий вычислитель, который освободит основной БВК от избыточной информации. Однако применение в составе подвижного объекта дополнительного

вычислителя аналогичного типа для этой цели не всегда возможно и зависит от его габаритных размеров, стоимости и тактико-технических характеристик. В этом случае становится актуальной возможность применения в качестве управляющего ядра навигационного комплекса миниатюрной ЭВМ.

История размещения всех элементов компьютера на одной печатной плате началась в мае 1976 г., когда была представлена система Dyna-Micro, выполненная на базе процессора Intel C8080 [2]. Одноплатные ЭВМ отличаются от обычных компьютеров тем, что для миниатюризации и упрощения архитектуры они могут не содержать шин и слотов подключения плат расширения [3]. Одноплатные ЭВМ осуществляют управление технологическими процессами, обработку измерительной информации в сложных экспериментах. Производительность таких вычислителей может не только не уступать, но иногда и превосходить возможности стационарных ЭВМ [2, 4–6]. В связи с тем, что различные задачи требуют разных вычислительной мощности и набора интерфейсов, фирмы-производители стараются выпускать большое количество модификаций одноплатных компьютеров, а также снабжать их стандартными шинами расширения для наращивания функциональных возможностей. Успехи микропроцессорной индустрии позволили достичь миниатюризации в невиданных ранее масштабах [7].

Применение одноплатной ЭВМ в составе навигационного комплекса

Для отработки предложенного технологического решения применения миниатюрного вычислителя в целях снижения вычислительной нагрузки БВК подвижного объекта была использована одноплатная ЭВМ ЛДИГ.466363.001 производства АО «ПО «Электроприбор» (Пенза). Технические характеристики и внешний вид устройства приведены в табл. 1 и на рис. 2 соответственно.

Изделие имеет литеру «О1» и приемку «5». Системные требования ЭВМ позволяют установку операционной системы Astra Linux Special Edition 1.5. Используемый в изделии съемный накопитель Compact Flash имеет объем 8 Гб. Возможно применение накопителя большего объема. Анализ аналогичных вычислителей других производителей не проводился, так как целью проекта являлась отработка вопросов внедрения одноплатной ЭВМ в состав навигационного комплекса и снижения вычислительной нагрузки БВК объекта.

Поскольку электропитание навигационного комплекса осуществляется от бортовой сети постоянного тока с номинальным значением напряжения 27 В, при подключении применяемой одноплатной ЭВМ необходимо использовать модуль преобразования электропитания с гальванической развязкой

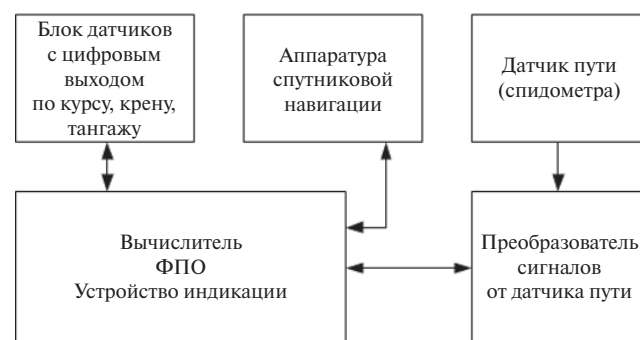


Рисунок 1. Структура построения навигационного комплекса

серии МДМ с выходным напряжением 5 В, предназначенный для эксплуатации в технике промышленного и специального назначения. Модуль выполнен на отечественной элементной базе и содержит встроенные входные и выходные помехоподавляющие фильтры для снижения уровня высокочастотных помех. С целью исключения резонансных явлений в цепях питания на частоте пульсаций необходимо шунтировать входные и выходные цепи модуля керамическими конденсаторами типа К10–47в или К10–47а. Их емкости выбираются в зависимости от модели преобразователя электропитания.

Структура навигационного комплекса с использованием одноплатной ЭВМ показана на рис. 3. Модули взаимодействия ФПО одноплатной ЭВМ, используя последовательные интерфейсы, подключаются к устройствам для получения информации, а также при необходимости управления ими. Получив необходимые данные, серверное приложение обрабатывает их и отправляет в БВК, которые выводят информацию операторам на экран устройств индикации. Бортовые вычислители влияют на работу одноплатной ЭВМ с помощью управляющих команд. Взаимодействие ФПО одноплатной ЭВМ с другими программами осуществляется посредством трансляции дейтаграмм по сети Ethernet с использованием UDP/IP. Реализация архитектуры «клиент – сервер» позволяет вести работу с навигационным комплексом с любого АРМ изделия.

Разработанное авторами ФПО навигационного комплекса, установленное на одноплатный вычислитель, позволяет решать следующие задачи:

- ввод исходной и служебной навигационной информации;
- определение значений навигационных параметров, параметров ориентации и точного времени на марше и стоянке;
- автоматизированная коррекция координат объекта на стоянке и в движении;

Таблица 1. Технические характеристики одноплатной ЭВМ ЛДИГ.466363.001

Параметр		Значение
Напряжение электропитания, В		5
Ток потребления, А		Не более 0,4
Процессор Intel® Atom N455	Количество ядер Тактовая частота процессора, ГГц Частота системной шины DMI, ГГц/с Тип модуля памяти Максимальный объем модуля памяти RAM, Гбайт Архитектура Сокет Интегрированное графическое ядро Intel GMA3150, шт., с выходными интерфейсами: VGA LVDS	1 1,66 2,5 DDR3 SDRAM 2 Intel 64 FSBGA559 1 1
Число контроллеров ввода-вывода	USB2.0	2
	SATA	1
	IDE (PATA)	1
	PC/104 (PCI)	1
Число контроллеров	RS-232/RS-485 (программно-переключаемые)	4
	PS/2	2
Число контроллеров Gb Ethernet с LAN-интерфейсом		2
Флеш-память	Технология прошивки	PnP BIOS
	Объем памяти, Мбит	8
Время непрерывной работы, ч		Не менее 24
Среднее время наработки на отказ, ч		Не менее 20000
Масса изделия, кг	Без радиатора	Не более 0,10
	С установленным радиатором	Не более 0,22
Габаритные размеры изделия, мм	Без радиатора	91×96×23,5
	С установленным радиатором	91×96×41,7

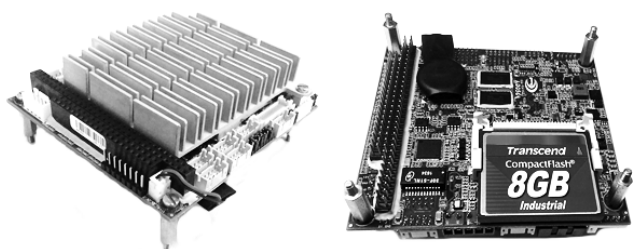


Рисунок 2. Одноплатная ЭВМ ЛДИГ.466363.001

- операции с электронной картой (ЭК) местности;
- определение юстировочных поправок на мерном участке, расчетные операции;
- информационный обмен с внешними потребителями.

При равных функциональных возможностях со стационарными вычислителями одноплатная

ЭВМ может встраиваться непосредственно в систему, обеспечивая при этом следующие преимущества:

- увеличение быстродействия, обусловленное минимальной длиной проводников монтажных соединений;
- повышение надежности вследствие сокращения проводных и разъемных соединений;
- однородность тепловых режимов эксплуатации, связанная с территориальной близостью элементов одноплатной ЭВМ;
- технологичность и ремонтпригодность, определяемые простотой конструктивного сопряжения одноплатного вычислителя с системой и легкостью замены.

Результаты испытаний

Для проведения испытаний комплекс навигации и ориентирования был установлен на опытном

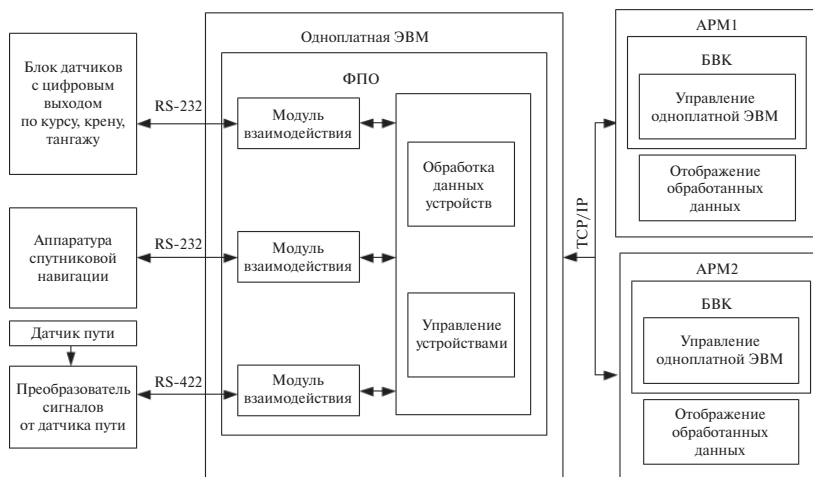


Рисунок 3. Структурная схема навигационного комплекса при использовании одноплатной ЭВМ в качестве сервера

PID	USER	PR	NI	VRT	RES	SHR	S	%CPU	%MEM	TIME+	COMMAND
12854	user	20	0	420m	56m	44m	R	18,2	1,4	0:04.23	sbins_client
11890	root	20	0	357m	137m	39m	S	5,3	3,5	0:07.73	Xorg
12873	user	20	0	306m	29m	26m	S	2,3	0,7	0:00.16	fly-snapshot
12663	user	20	0	324m	42m	36m	S	2,0	1,1	0:02.82	fly-term
12371	user	20	0	187m	38m	10m	S	1,3	1,0	0:01.99	fly-wm
7	root	20	0	0	0	0	S	0,7	0,0	0:01.38	rcu_sched
9	root	20	0	0	0	0	S	0,7	0,0	0:01.58	rcuos/0
25	root	20	0	0	0	0	S	0,3	0,0	0:00.19	rcuos/2
50	root	20	0	0	0	0	S	0,3	0,0	0:04.11	kworke/0:1
12050	root	20	0	18652	2036	1868	S	0,3	0,1	0:00.16	getty
12053	root	20	0	18652	2072	1904	S	0,3	0,1	0:00.19	getty
12718	user	20	0	23620	3052	2484	R	0,3	0,1	0:00.19	top

Рисунок 4. Информация о загрузке центрального процессора бортового вычислительного комплекса при работе навигационного комплекса в автономном режиме

образце машины разведки и управления командира (МРУК) взвода переносного ракетного зенитного комплекса. Анализ загрузки центрального процессора (ЦП) БВК проводился в два этапа с использованием штатных средств Astra Linux. С помощью встроенного в операционную систему терминала, используя утилиту top, осуществлялся контроль и мониторинг производительности системы в реальном времени, включая анализ потоков процессов и выявление процессов с высоким потреблением системных ресурсов. На первом этапе были получены данные о загрузке ЦП БВК изделия с установленным на него ФПО навигационного комплекса. Тестирование проводилось при работе навигационного комплекса в автономном, спутниковом, комплексированном режимах, в процессе проведения гирокомпасирования, при использовании функций картографического сервиса и режима настроек. На втором этапе была получена информация о загрузке ЦП БВК при тестировании в тех же режимах, что и на первом этапе, но при использовании в составе навигационного комплекса

одноплатной ЭВМ. На рис. 4 приведены полученные с помощью утилиты top данные при работе навигационного комплекса в автономном режиме, из которых видно, что загрузка ЦП (столбец %CPU) активным процессом (столбец S – статус, индекс R – активный) ФПО навигационного комплекса составляет 18,2%.

Результаты тестирования загрузки ЦП БВК в различных режимах по результатам двадцати замеров приведены в табл. 2.

График снижения загрузки ЦП БВК при использовании одноплатной ЭВМ в составе комплекса навигации в зависимости от выбранного режима работы приведен на рис. 5.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что применение в составе навигационного комплекса одноплатной ЭВМ в качестве сервера позволяет снизить вычислительную нагрузку БВК изделия на 3% при работе комплекса в режиме определения значений навигационных параметров, параметров ориентации и точного времени на марше и стоянке, а также выполнении других штатных операций.

Таблица 2. Результаты тестирования загрузки центрального процессора бортового вычислительного комплекса

Режим навигационного комплекса	Загрузка ЦП БВК		Загрузка ЦП БВК с использованием одноплатной ЭВМ		Снижение загрузки ЦП, %
	Диапазон значений, %	Среднее значение, %	Диапазон значений, %	Среднее значение, %	
Автономный	18,2–19,1	18,65	15,3–16,0	15,65	3,00
Спутниковый	17,0–17,7	17,35	13,9–14,4	14,15	3,20
Комплексированный	25,8–27,3	26,55	22,7–24,9	23,80	2,75
Гирокомпасирование	21,2–21,7	21,45	18,1–18,2	18,15	3,30
Картография	29,1–30,2	29,65	24,8–25,2	25,00	4,65
Загрузка ЭК (в зависимости от типа и формата ЭК)	29,0–35,1	32,05	25,1–30,0	27,55	4,50
Масштабирование ЭК	32,7–34,0	33,35	26,3–27,8	27,05	6,30
Матрица высот (построение для локальной области ЭК)	29,5–30,2	29,85	24,8–25,2	25,00	4,85
Матрица высот (построение для всей ЭК)	47,5–47,8	47,65	37,2–37,5	37,60	10,05
Прокладка маршрута	30,1–30,7	30,40	27,2–27,6	27,40	3,00
Построение контрольных точек	30,1–30,3	30,20	27,2–27,5	27,35	2,85
Поиск объектов на ЭК	31,7–32,5	32,10	27,7–28,0	27,85	4,25
Пересчет координат (в зависимости от текущего режима работы навигационного комплекса)	18,2–27,3	22,75	15,4–23,9	19,65	3,10
Юстировка	21,3–21,7	21,50	16,3–16,6	16,45	5,05
Настройки интерфейса (в зависимости от текущего режима работы навигационного комплекса)	18,4–27,3	22,85	15,0–24,2	19,60	3,25

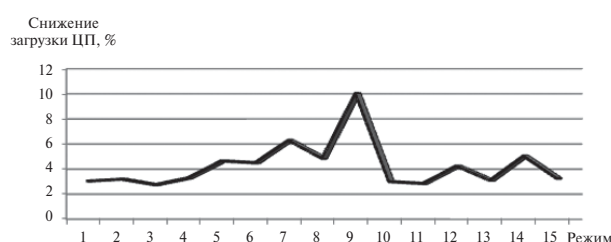


Рисунок 5. Снижение загрузки центрального процессора бортового вычислительного комплекса при использовании одноплатной ЭВМ в составе комплекса навигации

При использовании визуального отображения текущей позиции объекта на местности с учетом параметров маршрута, на основании получаемых навигационных данных, снижение вычислительной

нагрузки БВК составляет до 10% (наиболее затратной в вычислительном плане в данном случае является операция построения матрицы высот для всей ЭК местности). Работа с картой в индикаторном режиме является наиболее важной функцией при совершении марша, так как позволяет контролировать действительное местоположение объекта и давать объективную оценку точности работы навигационной аппаратуры.

Согласно данным табл. 1, среднее время наработки на отказ ЭВМ ЛДИГ.466363.001 составляет не менее 20 тыс. ч, в то время как штатный вычислитель изделия МРУК имеет аналогичный показатель надежности вдвое меньше – не менее 10 тыс. ч. При этом использование одноплатной ЭВМ приведет к незначительному повышению стоимости комплекса (примерная стоимость ЭВМ ЛДИГ.466363.001 составляет 70 тыс. руб.).

Выводы

Предложенная концепция построения навигационного комплекса в виде программно-аппаратной системы с применением одноплатной ЭВМ позволит осуществить полноценную индикацию всей необходимой навигационной информации и управление навигационным комплексом через бортовой вычислитель, уменьшить вычислительную нагрузку на БВК и не перегружать его навигационными задачами, поскольку основная функция бортового вычислителя изделия – решение оперативно-тактических информационных задач. Применение архитектуры «клиент – сервер» позволит взаимодействовать

с навигационным комплексом с любого рабочего места изделия. К тому же АРМ не всегда имеют достаточное количество портов с необходимыми интерфейсами для обеспечения корректной работы комплекса навигации и ориентирования.

Учитывая современные тенденции в области навигационных систем позиционирования, использование одноплатных ЭВМ, которые в условиях конкретной специфики применения позволяют более эффективно отвечать требованиям технического задания и повысить производительность системы при незначительном увеличении стоимости комплекса, следует признать целесообразным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов С. В., Пальгин Н. И., Никитин В. В., Филюшкин И. П. Разработка и построение комплекса навигации и ориентирования для подвижных изделий сухопутного базирования // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 12. С. 20–28.
2. Ortmeyer C. Then and now: a brief history of single board computers // Electron. Des. Uncovered. 2014. No. 6. P. 1–11.
3. Рякова Д. А., Корнилов Ю. В. История одноплатных компьютеров // Инновационные технологии в науке и образовании. 2016. № 2 (6). С. 278–279.
4. Одноплатные микроЭВМ / В. Г. Домрачев, С. Н. Иванов, А. Ф. Романов, Ю. Н. Чернышов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 128 с.
5. Максимов П. В. Анализ одноплатных компьютеров, потенциально пригодных для использования в обучении // Педагогическое мастерство и педагогические технологии. 2015. Т. 2. № 4 (6). С. 244–246.
6. Кругляк К. Одноплатные компьютеры для встраиваемых систем // Современные технологии автоматизации. 2003. № 4. С. 6–17.
7. Isikdag U. Enhanced building information models. Springer, 2015. 136 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Сергей Владимирович, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Российская Федерация, 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-38, e-mail: smikhaylov987@mail.ru.

Пальгин Никита Игоревич, начальник сектора, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Российская Федерация, 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-38, e-mail: gfkmbuy@yandex.ru.

Никитин Владимир Вячеславович, начальник отдела, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Российская Федерация, 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-38, e-mail: fat33@rambler.ru.

Филюшкин Иван Павлович, к. т. н., доцент, начальник отдела, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Российская Федерация, 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-38, e-mail: filyshkin@mail.ru.

For citation: Mikhaylov S. V., Palgin N. I., Nikitin V. V., Filyshkin I. P. Application of single board computer as a control nucleus of perspective navigation complexes of modern mobile objects. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 12, pp. 6–12. DOI 10.21778/2218-5453-2019-12-6-12

S. V. Mikhaylov, N. I. Palgin, V. V. Nikitin, I. P. Filyshkin

APPLICATION OF SINGLE BOARD COMPUTER AS A CONTROL NUCLEUS OF PERSPECTIVE NAVIGATION COMPLEXES OF MODERN MOBILE OBJECTS

The paper considers the problems of operation of navigation complexes as a part of mobile object. A variant of the navigation complex implementation in the form of a software and hardware system is shown, which allows to use the onboard computer system (BVC) of the object as a computer. Information is given on compact electronic computers, the technical capabilities of which are implemented on a single printed circuit board. The structure of the navigation complex when using a single board computer as a server is proposed. The information describing the principle of connecting a single board computer to the on-board network of the object with the help of power conversion modules is given. The tasks solved by functional software installed on a single board computer are described. The advantages of using a single board computer instead of stationary computers are considered. The use of a single board computer will allow to interact with the navigation system from any workplace of the object, to reduce the computational load on the onboard computer to 10% and not to overload it with navigation tasks.

Keywords: software and hardware system, server, functional software

REFERENCES

1. Mikhaylov S. V., Palgin N. I., Nikitin V. V., Filyshkin I. P. Development and creation of navigation and orientation complex for mobile land-based objects. *Voprosy radioelektroniki*, 2018, no. 12, pp. 20–28. (In Russian).
2. Ortmeyer C. Then and now: a brief history of single board computers. *Electron. Des. Uncovered*, 2014, no. 6, pp. 1–11.
3. Ryakova D. A., Kornilov Yu. V. History of single board computers. *Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii*, 2016, no. 2 (6), pp. 278–279. (In Russian).
4. Domrachev V. G., Ivanov S. N., Romanov A. F., Chernyishov Yu. N. *Odnoplatnyie microEVM* [Single board microcomputers]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 128 p. (In Russian).
5. Maksimov P. V. Analysis of single board computers that are potentially suitable for use in education. *Pedagogicheskoe masterstvo i pedagogicheskie tekhnologii*, 2015, vol. 2, no. 4 (6), pp. 244–246. (In Russian).
6. Kruglyak K. Single board computers for embedded systems. *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii*, 2003, no. 4, pp. 6–17. (In Russian).
7. Isikdag U. *Enhanced building information models*. Springer, 2015, 136 p.

AUTHORS

Mikhaylov Sergey, electronics engineer, JSC Research and Production Enterprise «Rubin», 2, Baydukova St., Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-38, e-mail: smikhaylov987@mail.ru.

Palgin Nikita, head of sector, JSC Research and Production Enterprise «Rubin», 2, Baydukova St., Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-38, e-mail: gfmuby@yandex.ru.

Nikitin Vladimir, head of department, JSC Research and Production Enterprise «Rubin», 2, Baydukova St., Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-38, e-mail: fat33@rambler.ru.

Filyshkin Ivan, Ph. D., assistant professor, head of department, JSC Research and Production Enterprise «Rubin», 2, Baydukova St., Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-38, e-mail: filyshkin@mail.ru.