

УДК 62-592.527

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПУТЁМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ ЕГО ОСИ

КОВАЛЕНКО НАТАН РУСЛАНОВИЧ

Бакалавр, Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, Минск, Беларусь

ШПАК ИВАН ИЛЬИЧ

Кандидат технических наук, доцент, Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье приведены результаты, полученные в процессе создания системы автоматического управления торможением оси. Разработанная система позволяет обеспечить более эффективное управление при экстренном торможении, являясь подсистемой электронных тормозов автопоезда. Автором статьи выполнено схемотехническое проектирование системы, разработаны алгоритм и программное обеспечение ее функционирования, а также конструкция печатного узла, с применением современной САПР.

Ключевые слова: Транспортное средство, система активной безопасности, ABS, тормоз, торможение, микроконтроллер, схемотехническое проектирование, разработка алгоритма и программного обеспечения, САПР, печатный узел.

В современных условиях автомобильный транспорт и целый ряд преимуществ, которые обеспечиваются благодаря наличию автомобилей, воспринимаются как само собой разумеющееся. Для реализации в полной мере всех преимуществ и удобств, предоставляемых развитой транспортной инфраструктурой, переизбытком общественного, личного, и особенно грузового автотранспорта, необходимо, однако, обязательно выполнение важнейшего условия для безопасного управления транспортными средствами – обеспечение возможности останова этих средств в случае необходимости, т.е. их торможения.

Тормозные системы, используемые в автомобильном транспорте, являются важнейшей подсистемой для обеспечения безопасности как самого водителя, пассажиров, перевозимого груза, так и собственно транспортного средства.

Традиционные (механические) тормозные системы, хотя и достаточно эффективны, имеют свои ограничения, особенно в условиях экстренных ситуаций. Одним из таких ограничений является зависимость эффективности торможения от опыта водителя. Так, при недостатке такового, одновременно следить за траекторией движения, объектами на пути, скоростью и состоянием колёс представляется слишком сложной задачей.

При внезапном возникновении аварийной ситуации водитель может испугаться и нажать на педаль тормоза сразу до упора, что, в свою очередь, приведёт к передаче максимального тормозного усилия на колесо и, с высокой вероятностью, заблокирует его.

Такое развитие событий ещё больше усложняет ситуацию, что особенно критично в случае транспортных средств, обладающих высокой инерционностью, т.е. для грузового автотранспорта.

Следующей проблемой механических тормозов является ограниченность их в области использования фрикционных материалов. Так, например, пневматические тормозные системы обеспечивают эффективное торможение при большей, чем у гидравлических, силе прижатия [1], однако время их срабатывания уступает гидравлическим системам.

Решением обозначенной проблемы может быть разработка электронного блока управления [2], который позволяет значительно ускорить время срабатывания благодаря замене среды передачи – с воздушной на электронную, которая обладает гораздо большей скоростью передачи сигналов.

Стремительные изменения в технологическом прогрессе привели к разработке интеллектуальных систем, предназначенных для повышения эффективности тормозной системы и снижения риска возникновения опасных ситуаций.

Так, системы АБС, впервые появившиеся в конце XX века, представляют собой интегрированные решения, направленные на предотвращение блокировки колес во время торможения. В последние десятилетия эта технология стала стандартом безопасности в современных автомобилях.

Одним из путей решения обозначенной в [2] проблемы является разрабатываемая система автоматического торможения оси транспортного средства.

Актуальность разработки заключается в необходимости, учитывая современные рыночные и геополитические обстоятельства, создания системы торможения отечественного производства для замены аналогичных импортных решений.

Созданная система осуществляет контроль: давления в тормозных камерах; скорости колёс; степени износа тормозных колодок; процессов торможения на скоростях выше 10 км/ч. Проводится самодиагностика, а при обнаружении отклонений от требуемых значений контролируемых параметров, система полностью передаёт управление процессом торможения водителю. Она также осуществляет связь с блоком управления системой электронных тормозов и блоком управления приборной панелью посредством шинного интерфейса CAN.

Для выполнения своих функций система должна обеспечивать:

- 1 Прием и обработку входных сигналов с внешних датчиков частоты вращения колес.
- 2 Измерение давлений в пневматических каналах с помощью встроенных датчиков давления.
- 3 Прием и обработку сигналов с внешних датчиков износа тормозных колодок, работающих на замыкание электрической цепи;
- 4 Выдачу управляющих воздействий в виде прямоугольных импульсов на катушки электромагнитных клапанов.
- 5 Выдачу и прием информации по шине CAN интерфейса в соответствии со стандартом SAE J1939.
- 6 Управление давлением в подключенных тормозных камерах при помощи встроенных электромагнитных клапанов.
- 7 Диагностику элементов системы в режиме непрерывного контроля.
- 8 Устойчивость к кондуктивным помехам по цепям питания и к переплюсовкам.

Для реализации указанных функций была разработана структурная схема системы управления торможением оси, представленная на рисунке 1.

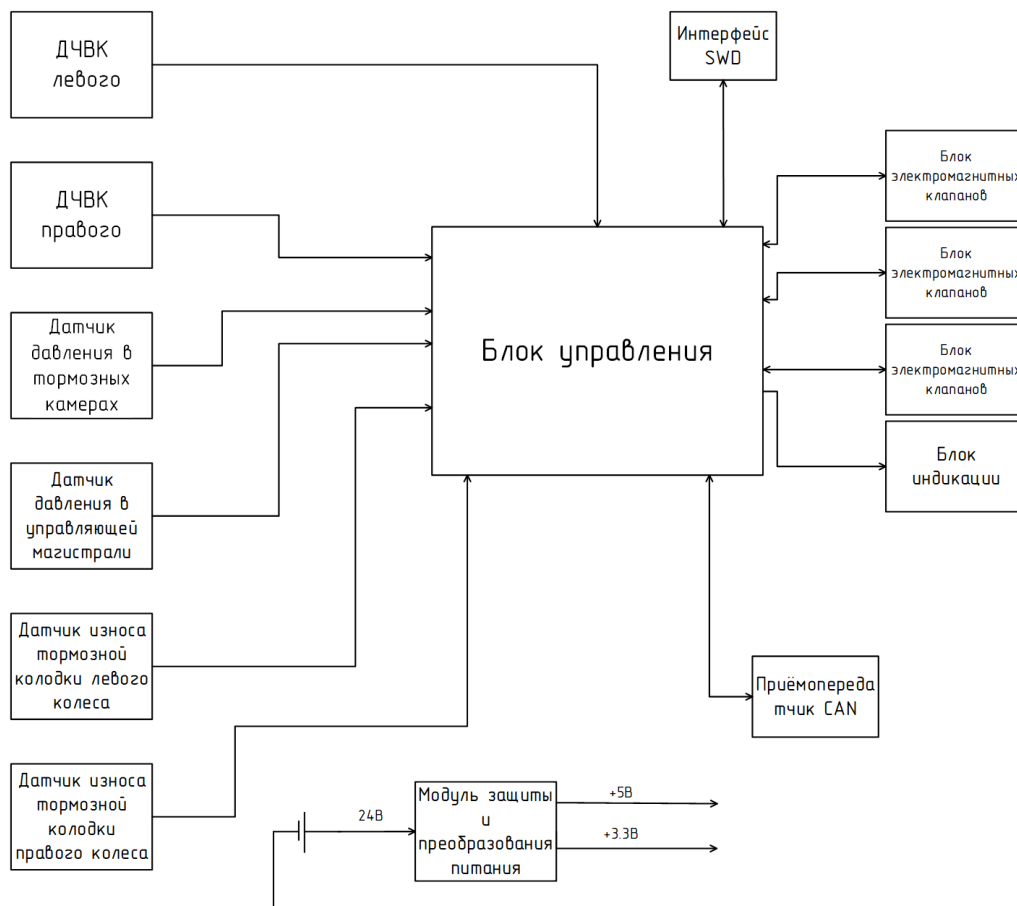


Рисунок 1 – Схема электрическая структурная системы

Процесс запуска и самодиагностики системы можно описать следующим образом: поворот водителем ключа зажигания обеспечивает подачу к системе напряжение питания 24В;

напряжение, преобразованное с целью снижения мощности, потребляемой системой, подаётся на блок управления и начинается инициализация системы;

осуществляется диагностика датчиков и управляемых устройств;

при обнаружении неисправностей, система не может далее выполнять свои функции, переходит в режим прямой передачи управления водителю – работает «насквозь» и сообщает о наличии неисправностей по CAN шине либо с помощью блока индикации;

в случае успешного прохождения самодиагностики блок управления переводит систему в рабочий режим и ожидает начала движения транспортного средства. В рабочем режиме периодически выполняется повторная диагностика всех узлов системы, чтобы удостовериться в её способности исправно выполнять заданные функции.

Информацию о скорости автомобиля блок управления получает путём обработки сигнала, поступающего с датчиков частоты вращения колёс (ДЧВК), а также по CAN шине от блока управления панели приборов и, при необходимости, от двигателя. При достижении водителем скорости, превышающей 10 км/ч система, начинает оказывать активную помощь водителю при торможении.

Параллельно этому процессу система собирает информацию о давлении в тормозных камерах (в процессе движения оно должно быть равным атмосферному), получаемую от датчиков давления; состоянии тормозных колодок, износ которых определяется замыканием датчика износа на массу по мере ухудшения состояния колодок.

На рисунке 2 представлен график зависимости коэффициента сцепления μ от скольжения колёс λ . Если $\lambda=0\%$, то колеса вращаются свободно, без воздействия на них дорожного сопротивления трению. Коэффициент скольжения $\lambda=100\%$ соответствует скольжению (юз) колеса, когда оно переходит в заблокированное состояние. При этом значительно снижаются эффективность торможения, устойчивость и управляемость автомобиля при торможении [3].



Рисунок 2 – График зависимости коэффициента сцепления от скольжения колёс

Для большинства дорожных покрытий при значениях λ в интервале от 10 до 30 % μ достигает максимальной величины, что позволяет поддерживать оптимальный баланс между эффективностью торможения и блокировкой колёс.

При экстренном торможении значительное усилие на педаль тормоза может вызвать блокировку колес. Сила сцепления шин с дорожным покрытием при этом резко ослабевает, и водитель теряет управление автомобилем, если периодически не отпускает педаль тормоза.

Система управления торможением оси призвана обеспечить постоянный контроль за силой сцепления колес с дорогой, и соответственно регулировать в каждый момент тормозное усилие, прилагаемое к каждому колесу управляемой оси. [3]

Для обеспечения этого функционала, нажатие педали тормоза, приводящее к изменению давления в управляющей магистрали, подаёт сигнал системе о начале процесса торможения. Система «отсекает» управляющую магистраль от клапанов управления давлением и регулирует их работу в автоматическом режиме.

Блок управления осуществляет замеры текущей скорости вращения колес, оценку реальной скорости автомобиля, расчет проскальзывания колес, ограничение или снижение соответствующего тормозного давления при росте проскальзывания колеса и поддерживает связь с блоком управления системой электронных тормозов для согласования процесса торможения и получения дополнительной информации, в т.ч. об ускорении транспортного средства. Для поддержания тормозного давления включается клапан отсечки, для снижения тормозного давления одновременно включаются клапана отсечки и выпуска.

На основе рассмотренной структурной схемы была разработана её схема электрическая функциональная, проведен выбор функциональных узлов [4] и разработана схема электрическая принципиальная.

Блок управления в системе реализован на основе микроконтроллера STM32F042C6T6, который отвечает за получение и обработку поступающих сигналов, а также выработку и передачу управляющих воздействий на электромагнитные клапана и обмен по шине CAN [5].

Выбранный тип контроллера пользуется большой популярностью в мире благодаря невысокой цене, стабильности параметров, большому количеству информационных ресурсов с активным сообществом разработчиков и широкой поддержкой производителя [6].

На рисунке 3 представлена упрощённая структура данного микроконтроллера на основе [5], [7] и [8].

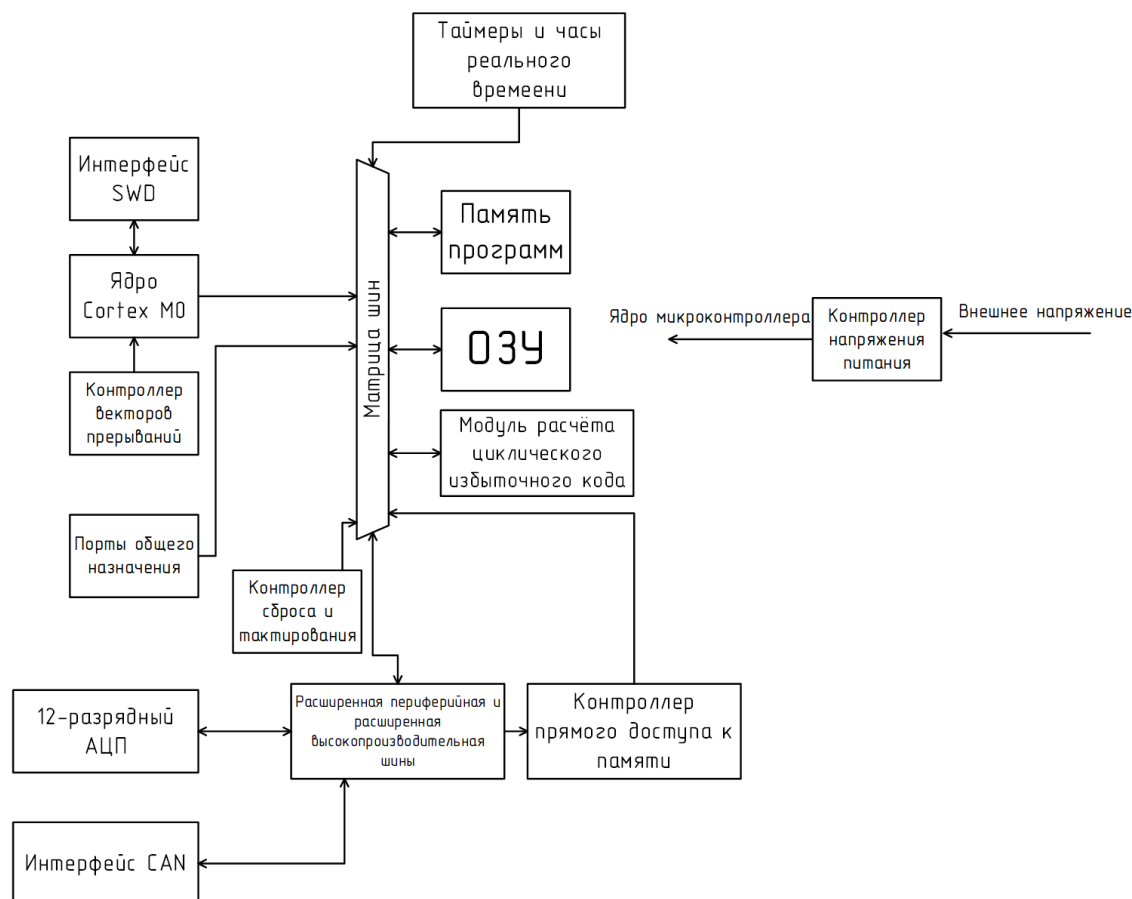


Рисунок 3 – Упрощённая структура микроконтроллера STM32F042C6T6

Основными компаниями, производящими чувствительные элементы для измерения давления, являются NXP, Honeywell, Amphenol.

Разрабатываемая система требует, однако, с одной стороны компактного размера для установки в корпус блока управления, а с другой – обеспечение достаточной точности измерений в заданных диапазонах.

В результате изучения существующих датчиков, руководствуясь удобством монтажа без дополнительных соединений, температурным диапазоном, напряжением питания и точностью, комплектация изделия позволяет использовать два различных чувствительных элемента, представленные на рисунке 4. Данный тип корпуса позволяет размещать датчики непосредственно на корпусе блока управления, что в свою очередь позволит использовать более прочные и надёжные, по сравнению с гибкими трубками, каналы для измерения давления, отлитые непосредственно в корпусе блока управления.

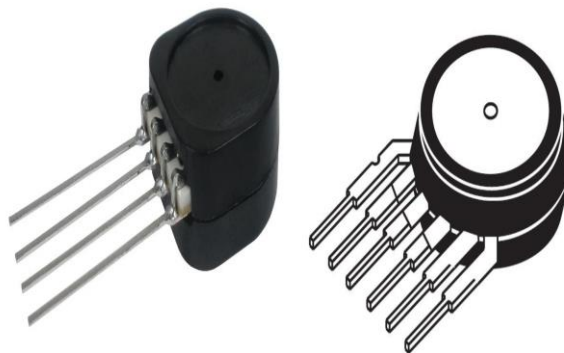


Рисунок 4 – Внешний вид датчиков давления

Несмотря на меньшее энергопотребление и десятикратно большую точность, датчик фирмы Honeywell является менее предпочтительным, так как данная точность, являясь избыточной, неизменно ведёт к росту цены датчика, которая отличается в два-пять раз в зависимости от просматриваемого каталога.

Важным периферийным модулем является фильтр сигнала, поддерживающий указанную производителем точность. В случае использования датчика NSCSSNN150PAUNV необходим фильтр бóльших порядков для снижения уровня влияния помех на показания датчика с указанной точностью до пренебрежимо малых величин, что во вторую очередь увеличивает количество дискретных элементов, а вместе с тем – сложность, стоимость и занимаемое на печатной плате место.

В качестве датчика частоты вращения колеса используется АДЮИ.407111.007 отечественного производства. Однако, его сигнал обладает большим размахом, при маленьких зазорах между ним зубчатым ротором, и требует преобразований для безопасного восприятия контроллером. Для этого проектируется дифференциальный усилитель с фильтром и пороговое устройство на основе операционного усилителя LM2902DTBR2G, схема подключения и параметры которого представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

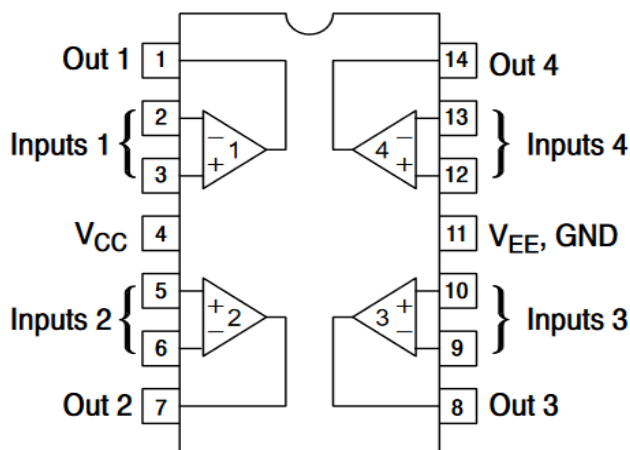


Рисунок 5 – Схема подключения микросхемы LM2902DTBR2G

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous	
Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}C$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 2)	Case 646 Case 751A Case 948G	$R_{\theta JA}$ 118 156 190	$^{\circ}C/W$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}C$
Operating Ambient Temperature Range	LM224 LM324, LM324A, LM324E LM2902, LM2902E LM2902V, NCV2902 (Note 3)	T_A -25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	$^{\circ}C$

Рисунок 6 – Предельные электрические параметры микросхемы LM2902DTBR2G

В качестве микросхемы контроля за питанием выбрана TPS16630PWPR. Данный компонент защищает дальнейшую цепь от превышения потребления тока, контролирует уровень напряжения на входе и не даёт дальнейшей цепи работать при недостаточном либо избыточном напряжении, пороги которого можно задавать с помощью внешнего резистивного делителя. На рисунке 4.6 представлена рекомендуемая производителем схема подключения с учётом периферийных компонентов.

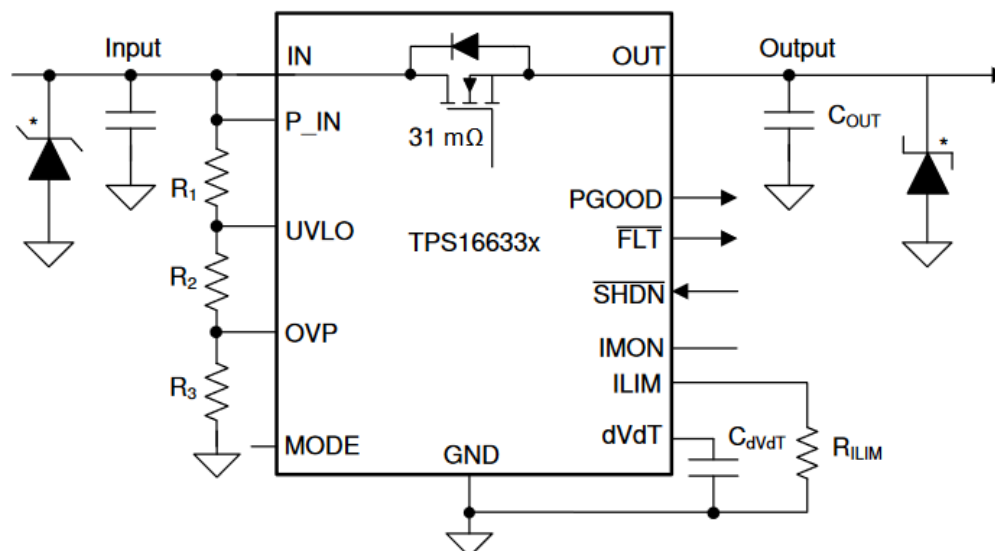


Рисунок 7 – Рекомендуемое производителем подключение микросхемы

Для реализации разработанной системы была выбрана современная элементная база, и проведён расчёт функциональных узлов. Поэтапно были разработаны алгоритм работы блока управления, приведённый на рисунке 8, и программное обеспечение для микроконтроллера.

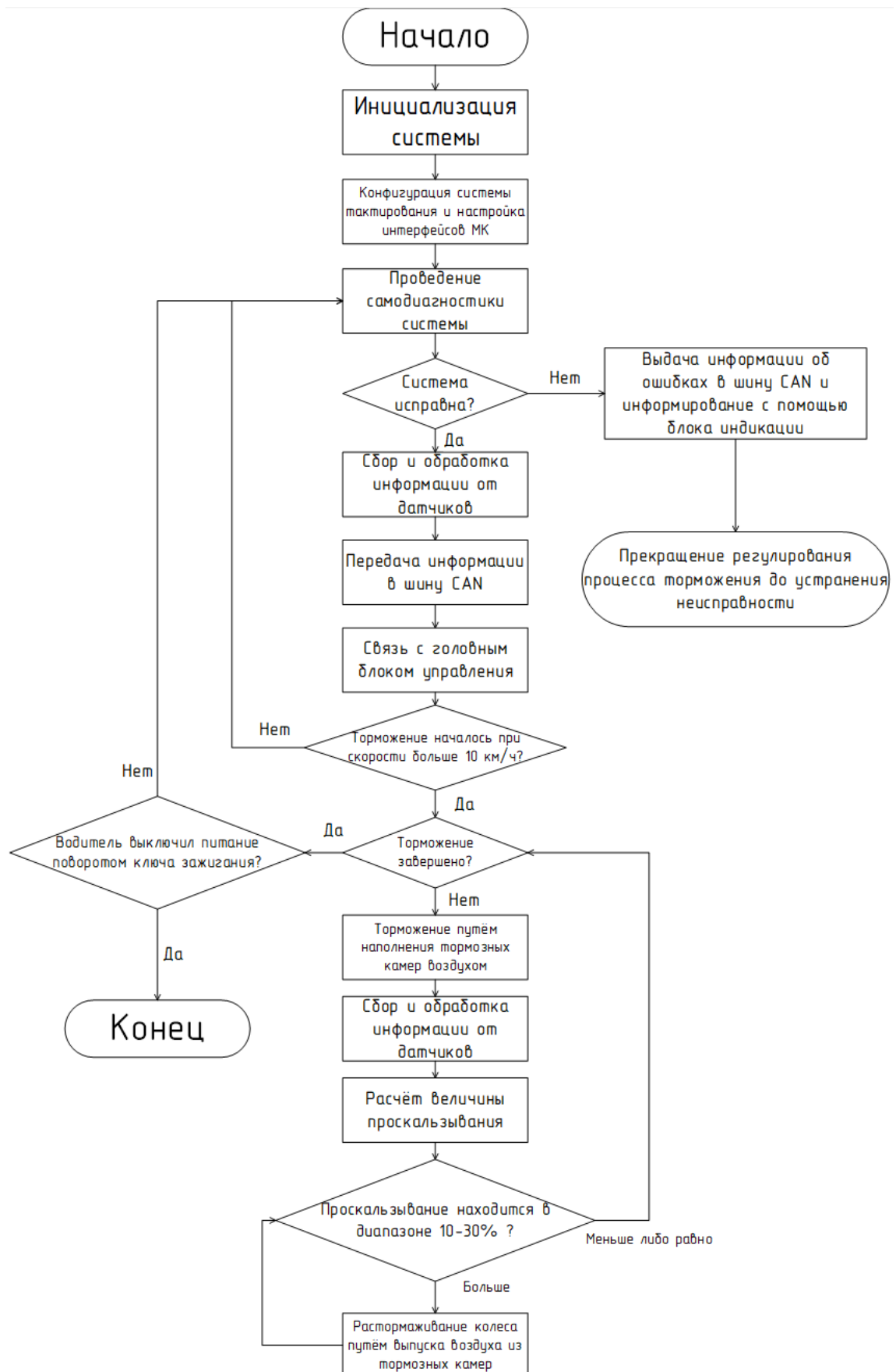


Рисунок 8 – Алгоритм работы системы управления блока управления системы торможения оси транспортного средства

Обоснованный выбор конструктивных элементов служит задачам обеспечения соблюдения требований к электромагнитной совместимости, сокращения массы и габаритов конечного изделия, обеспечения достоверного и постоянного выполнения своих функций в заданных режимах эксплуатации при различных температурах в течение определённого времени. В некоторых случаях правильно подобранные конструктивные элементы в комплекте с правильным расположением позволяют повысить ремонтпригодность путём упрощения доступа и процессов монтажа и демонтажа отдельных элементов

Основными критериями при выборе элементов послужили: температурный диапазон, частота работы (где применимо), предельные значения тока и напряжения, потребляемая мощность и габаритные размеры.

После завершения выбора элементов и проведения компоновочных расчётов, определены габаритные размеры печатной платы, равные 90*95 мм.

Для начала разработки ПП в среде Altium designer необходимо осуществить выбор элементной базы, используя онлайн-библиотеку Manufacturer part search. Затем реализовать принципиальную схему средствами программного пакета, осуществить размещение элементов схемы на плате и спроектировать топологию печатных проводников. Результат размещения элементов на плате представлен на рисунке 9.

Так, например, гнезда подключения питания и электронные ключи сгруппированы отдельно в связи с большими протекающими токами и, как следствие, необходимостью рассеивать увеличенное число тепла вокруг микросхем.

Отдельно расположена чувствительная к помехам аналоговая часть схемы, представленная датчиками давления и пассивными компонентами, служащими целям защиты и фильтрации.

В правой части платы расположена цепь защиты и преобразования питания, которая является второй по количеству выделяемой тепловой энергии. Такое расположение позволяет распределить локализацию источников тепла по всей площади платы.

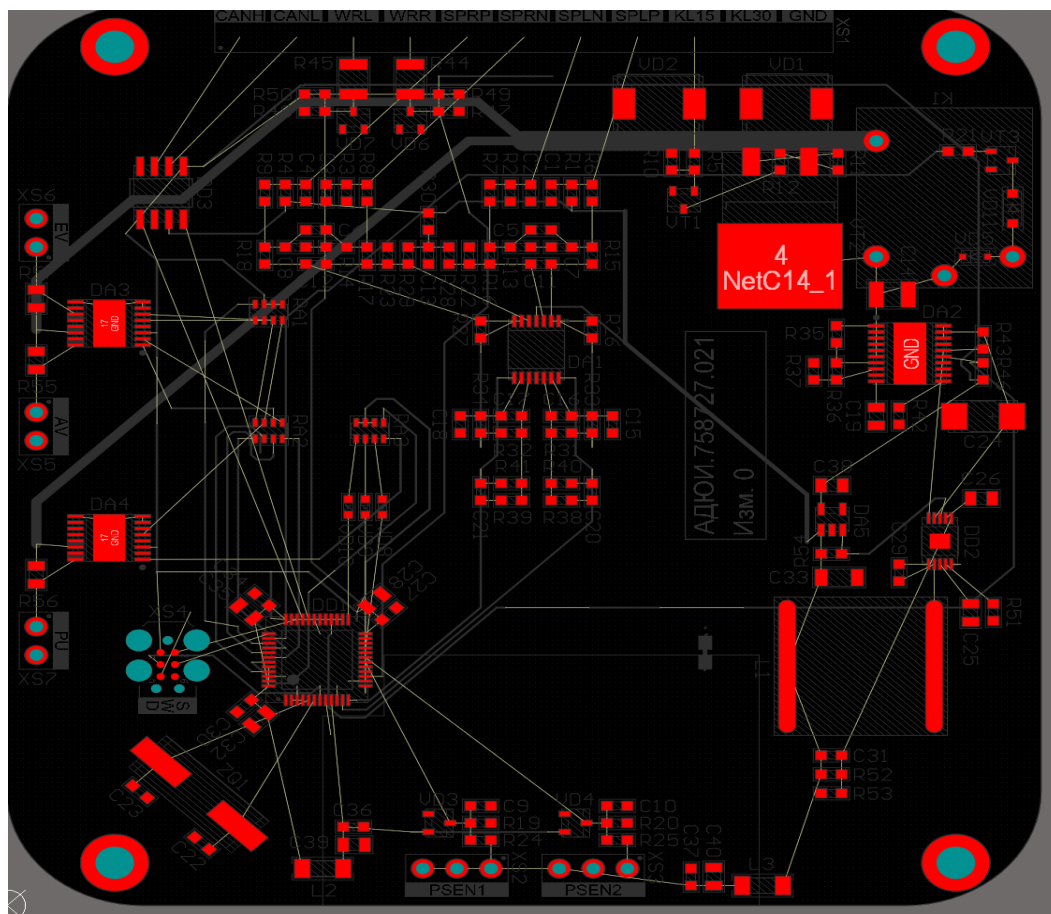


Рисунок 9 – Результат размещения элементов на печатной плате

После размещения элементов на плате для оптимизации тепловыделения и уменьшения количества линий связи следует локализовать области сплошной металлизации – полигоны. Наиболее подходящей цепью для этих задач, как правило, является цепь общего проводника. В данном случае присутствует необходимость разделения полигона на две части – аналоговую и цифровую, что позволяет снизить влияние помех, вызванных переключением цифровых элементов, на аналоговую часть схемы

На рисунке 10 представлен верхний слой печатной платы с размещёнными полигонами.

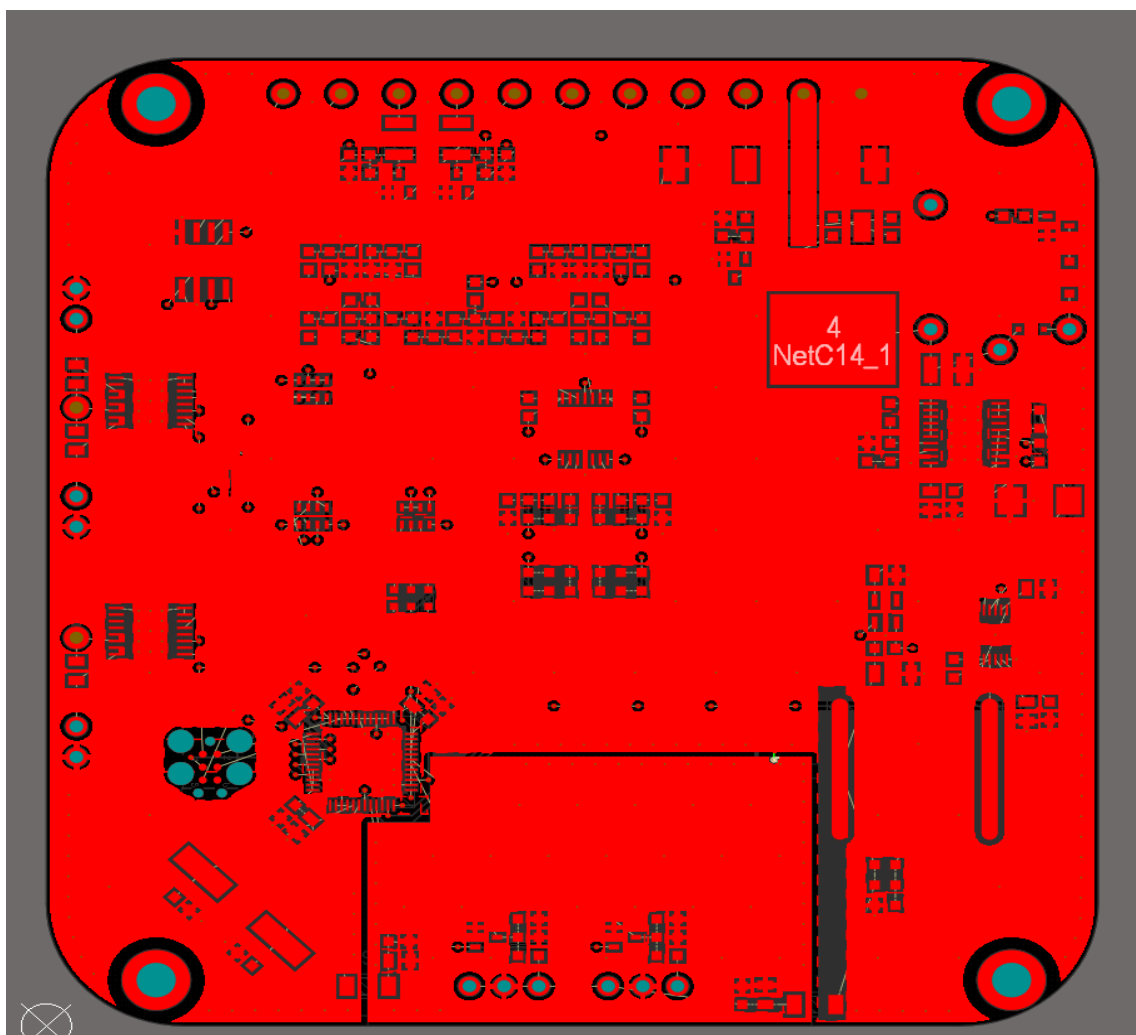


Рисунок 10 – Верхний слой печатной платы с размещёнными полигонами.

Между двумя областями металлизации существует небольшая перемычка, позволяющая обеспечить электрическую связь между ними – обе являются отрицательными полюсами источника питания, однако, значительно снижая возможность перехода помех между ними

После размещения полигонов следует провести оставшиеся линии электрической связи между элементами с помощью команды `Route→ interactive routing`. В меню данной команды можно выбрать тип трассировки и правила разрешения конфликтов при их возникновении. Система линии связи между элементами с помощью печатных проводников. Результаты трассировки представлены на рисунках 11 и 12. 3-D модель печатной платы после завершения работ по трассировке представлена на рисунке 13.

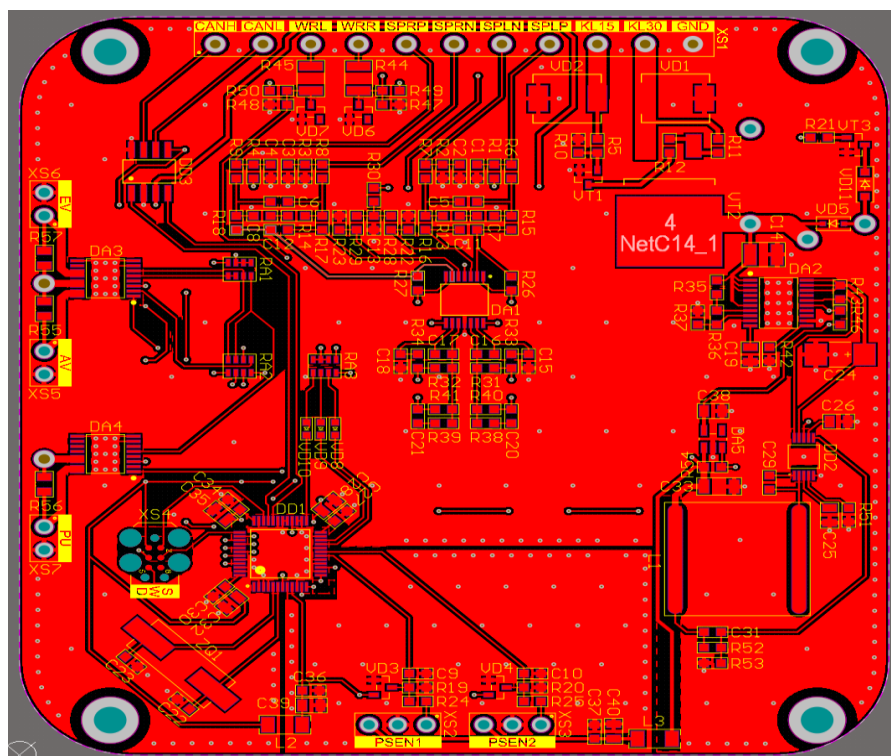


Рисунок 11 – Трассировка верхней стороны печатной платы

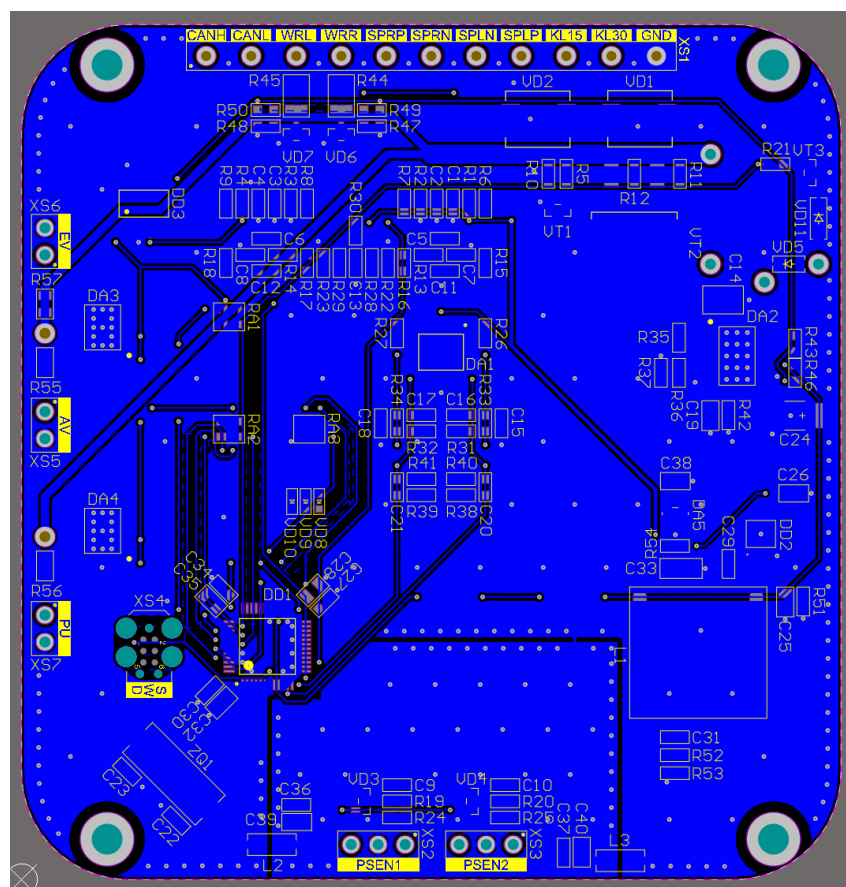


Рисунок 12 – Трассировка нижней стороны печатной платы

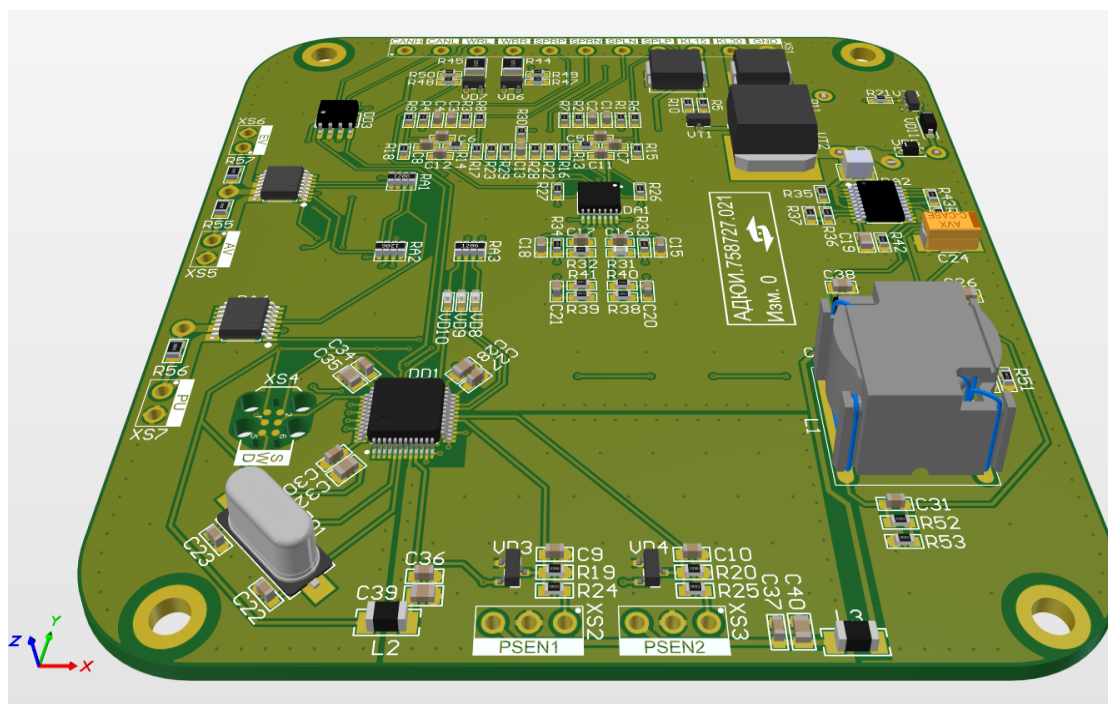


Рисунок 13 – Трёхмерная модель печатной платы

Целью такого размещения компонентов было увеличение удобства отладки и ремонта платы в будущем – большинство элементов находится на одной стороне монтажа, что позволяет обеспечивать удобный доступ для диагностических щупов. Дополнительные переходные отверстия по всей плате и использование полигонов позволяет эффективно рассеивать тепло.

Разделение полигонов цифровой и аналоговой земли позволяет уменьшить влияние помех от переключения цифровых элементов и повысить достоверность работы аналоговых компонентов.

Так как в качестве основного способа монтажа был выбран поверхностный, позволяющий использовать маломощные элементы небольшого размера, а при необходимости повышать плотность монтажа. Также, данный тип монтажа элементов позволяет снизить влияние паразитных параметров по сравнению с выводным монтажом, что обеспечивает возможность использовать автоматические сборочные линии для повышения эффективности производства [9].

Использование полигонов металлизации позволяет достичь высокой эффективности рассеивания тепла при продолжительной работе системы под высокими нагрузками, снизить количество отдельных линий связи посредством создания дополнительных проводников, а также снизить влияние помех и паразитных параметров цепи посредством снижения общего сопротивления цепи земли, а также вышеописанного уменьшения количества отдельных печатных проводников.

Разработанная система автоматического управления торможением оси транспортного средства, будучи использованной в качестве подсистемы общей электронной тормозной системы, позволяет существенно повысить эффективность торможения автотранспорта, и тем самым обеспечить безопасность пассажирских и, особенно, грузовых перевозок. Спроектированная система может быть отнесена к одной из первых попыток создания отечественных разработок, не уступающих по функционалу и эффективности зарубежным аналогам [10].

В данный момент система находится на стадии проведения испытаний макетного образца и готовится к внедрению на предприятия автомобильной промышленности РБ и РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДрайвНН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drivenn.ru/journal/novosti/3-prichiny-pochemu-na-gruzovikah-tormoza-pnevmaticheskie-a-ne-gidravlicheskie-id31600>. Дата доступа: 10.12.2023
2. Драйв ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.drive.ru/technic/4efb331400f11713001e38cb.html>. Дата доступа: 10.12.2023
3. Легковые автомобили: учебник / Е.Л. Савич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. — 758 с.: ил. — (Высшее образование: Бакалавриат).
4. Выбор микроконтроллера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tech-geek.ru/choosing-microcontroller/>. Дата доступа: 13.12.2023
5. Спецификация микроконтроллеров STM серии STM32F042. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/500/DOC025500093.pdf>. Дата доступа: 13.12.2023
6. Рекомендации по выбору микроконтроллера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/micros/micros.htm>. Дата доступа: 13.12.2023.
7. Руководство по программированию микроконтроллеров STM серии STM32F042 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/programming_manual/pm0215-stm32f0-series-cortexm0-programming-manual-stmicroelectronics.pdf. Дата доступа: 17.12.2023.
8. Справочное руководство о микроконтроллерах серии STM32F042 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0091-stm32f0x1stm32f0x2stm32f0x8-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf. Дата доступа: 17.12.2023.
9. Информационный портал «Первоисточник» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://syktyvkar.1istochnik.ru/news/81398>. Дата доступа: 27.12.2023.
10. Информационный портал фирмы Wabco [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/docs/8150800153.pdf>. Дата доступа: 27.12.2023.