

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ АВТОНОМНОГО МАЛОРАЗМЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Каныгин

kanyuginav1@student.bmstu.ru

SPIN-код: 9068-7041

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена проблема оптимизации управления многоцелевым робототехническим комплексом, оборудованным манипулятором для перемещения малых объектов. Сформулировано техническое задание для решения этой проблемы и предложен вариант реализации малогабаритного автономного комплекса. Рассмотрена принципиальная схема взаимодействия модуля управления двигателями, бортового компьютера и беспилотного летательного аппарата. Представлен метод управления напряжением в цепи якоря единичного электрического двигателя. Предложен способ уменьшения числа каналов передачи сигнала при объединении нескольких каналов управления разнотипными электрическими двигателями на базе многоканального контроллера с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-контроллера). Подобраны параметры электрических компонентов схемы. Смоделирована электрическая схема интегрированного модуля управления с использованием ШИМ-контроллера.

Ключевые слова

Мобильный робототехнический комплекс, управление двигателями, каналы управления, электрические компоненты, широтно-импульсная модуляция, ШИМ-контроллер, оптимизация каналов управления, микроконтроллер, многоканальная система автоматического управления

Поступила в редакцию 01.02.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. Задача обнаружения и перемещения объектов различного военного назначения всегда являлась актуальной. В существующих условиях остро стоит вопрос о безопасности оператора при перемещении подобных грузов.

Наилучшим вариантом представляется использование мобильных роботов. Увеличение доли роботизированных комплексов при транспортировке является одним из магистральных направлений развития техники, максимально исключающим пребывание личного состава в опасной зоне [1].

Для решения задачи автономной транспортировки требуется сформулировать техническое задание, которое учитывает специфику процесса перемещения и исключения опасности для персонала в рабочий период.

Техническое задание. При перемещении потенциально опасного груза приоритетом является защита оператора от возможного вредного воздействия. Для этого предлагаемое решение должно обладать автономностью. При обеспечении автономности технического решения исключается участие человека в манипуляциях с грузом. Таким образом, требуется оборудовать комплекс системой для

взаимодействия с грузом. Необходимо обеспечить проходимость комплекса по среднепересеченной местности, а также задачи навигации системы и работоспособность в широком температурном диапазоне.

Описание подсистем. Техническим решением для такого набора условий станет малоразмерный мобильный робот. Он представляет собой автономный робототехнический комплекс, предназначенный для обнаружения и перемещения потенциально опасных объектов. Вес комплекса может достигать 175 кг, что согласно классификации по массогабаритным характеристикам позволяет отнести его к мобильным робототехническим комплексам (МРК) среднего класса [3].

Робототехнический комплекс состоит из совокупности подсистем, выполняющих отдельные функции. Каждая подсистема может быть модернизирована по отдельности без ухудшения функционирования остальных подсистем.

В состав робототехнического комплекса входят следующие подсистемы (рис. 1):

- система гусеничного шасси;
- контейнер для объектов;
- манипулятор комплекса;
- бортовой компьютер;
- интегрированный модуль управления двигателями;
- модуль связи;
- блок датчиков для обнаружения объектов и ориентирования.

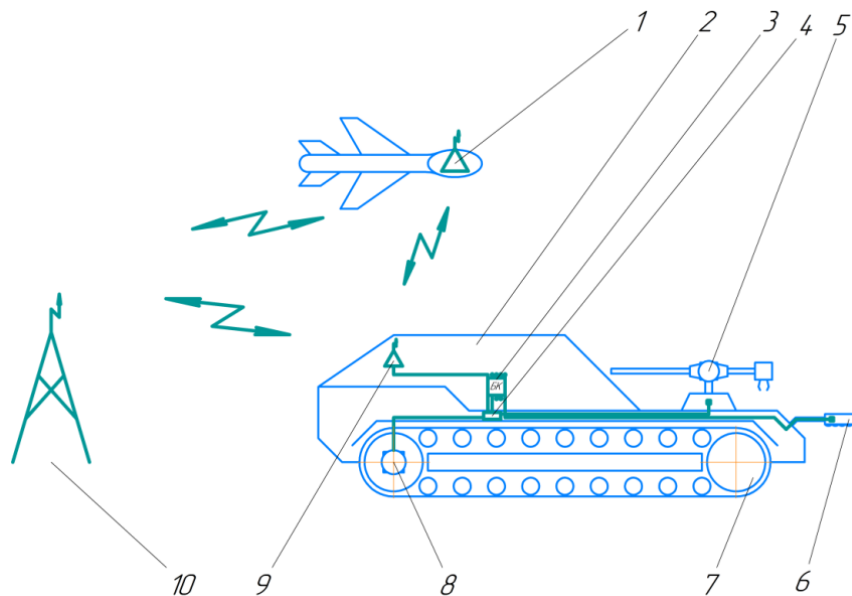


Рис. 1. Общий вид робототехнического комплекса:

1 — беспилотный летательный аппарат; 2 — контейнер для объектов; 3 — бортовой компьютер; 4 — интегрированный модуль управления; 5 — манипулятор комплекса; 6 — блок датчиков обнаружения; 7 — система гусеничного шасси; 8 — электродвигатель шасси; 9 — модуль связи комплекса; 10 — пост оператора

Бортовой компьютер. Автономное функционирование робототехнического комплекса обеспечивается бортовым компьютером. Задачи, решаемые бортовым компьютером, включают:

- управление функционированием комплекса на местности с использованием сигналов от оператора и беспилотного летательного аппарата (БПЛА);
- обработку информации, поступающей от блока датчиков;
- управление системой шасси;
- управление манипулятором со схватом.

Система гусеничного шасси. Перемещение на местности комплекс осуществляет при помощи гусеничного шасси, состоящего из двух гусеничных лент с двумя ведущими колесами, приводимыми в движение двумя электрическими моторами. Для защиты от провисания в системе шасси предусмотрены опорные катки, а также набор поддерживающих катков [3].

Контейнер для груза. Контейнер, предназначенный для хранения опасного груза, расположен в оперативной зоне манипулятора. Для предотвращения вредоносного воздействия на персонал и подсистемы автономного комплекса контейнер снабжается бронезащитой.

Манипулятор комплекса. На робототехническом комплексе установлен трёхступенной манипулятор, оборудованный схватом. Он предназначен для перемещения обнаруженных объектов из внешней среды в контейнер или автоматизированную выгрузку из контейнера.

Блок датчиков для обнаружения объектов. Для уточнения объекта робот оборудован комплексом сенсорного оборудования, а также средствами анализа сигналов, поступающих от этого оборудования.

Средства обеспечения рабочего движения. Робототехнический комплекс имеет несколько рабочих движений, среди которых можно выделить прямое и обратное вращение гусениц шасси, перемещение схвата манипулятора путем поворотов вокруг горизонтальной и вертикальных осей, а также движение схвата вдоль продольной оси манипулятора.

Для обеспечения независимого движения двух гусеничных полотен предполагается использовать два одинаковых двигателя для управления правым и левым полотном по отдельности.

Рабочее движение манипулятора можно реализовать с помощью двух двигателей для обеспечения нескольких степеней свободы схвата. Один из двигателей является ведущим и перемещает нагрузку в требуемом направлении, при этом должен быть возможен реверс оборотов и управление скоростью. Второй двигатель управляет коробкой передач, переключая ведущий двигатель между требуемыми редукторами. Этот способ позволяет снизить энергопотребление манипулятора и уменьшить число моторов, которыми необходимо управлять.

Таким образом, всего в системе имеются четыре двигателя трех типов: два двигателя для приведения в движение двух полотен шасси, ведущий двигатель

манипулятора, перемещающий нагрузку, и вспомогательный двигатель, отвечающий за переключение режимов ведущего двигателя [4].

Двигатель каждого типа имеет собственную характеристику рабочего хода, для управления движением требуется собственный канал. Двигатели гусеничного шасси должны поддерживать заданную скорость, иметь возможность попеременного вращения и установления различного направления оборотов независимо друг от друга. Для контроля такого движения необходимы два отдельных канала управления.

Ведущий двигатель манипулятора должен обладать возможностью изменения направления вращения, а также обеспечивать различные скоростные режимы. В то же время вспомогательный двигатель не имеет жесткой необходимости в обеспечении скоростного режима — достаточно обеспечить скорость переключения режимов ведущего двигателя. Для управления такими движениями также нужны два отдельных канала.

Модуль связи. Дистанционное управление функционированием робототехнического комплекса обеспечивается с помощью защищенного модуля связи, включающего возимую ультракоротковолновую радиостанцию с антенным блоком и системой сопряжения с бортовым компьютером [4].

Формулировка задачи построения управляющего модуля. Для полноценного контроля системы двигателей требуется, чтобы модуль управления робототехнического комплекса имел отдельные каналы управления для каждого из четырех двигателей, приводящих элементы комплекса в движение.

Предлагается выполнить моделирование модуля управления в интегрированном виде для обеспечения простоты сборки и производства. В интегрированной системе управления предусматривается единый модуль канала управления от бортового компьютера, каналы управления двигателями, а также средства энергетического обеспечения в виде энергетических связей с бортовой батареей, устройств понижения напряжения и предохранителей.

Общая структурная схема интегрированного модуля управления. Иерархия взаимодействия компонентов управляющего модуля следующая: бортовой компьютер (БК) управляет правым и левым двигателями гусеничного шасси (ДВ_п и ДВ_л). При этом возможно уточнение положения робота при помощи сигналов от оператора и БПЛА. При получении сигнала от комплекса сенсоров (КС) компьютер передает команду микроконтроллеру (МК) о начале процедуры перемещения объекта. Микроконтроллер управляет ведущим и вспомогательным двигателем манипулятора (ДВ_{вед} и ДВ_{вспом}), перемещая объект. Положение схвата манипулятора уточняется по сигналам датчиков положения манипулятора (ДП).

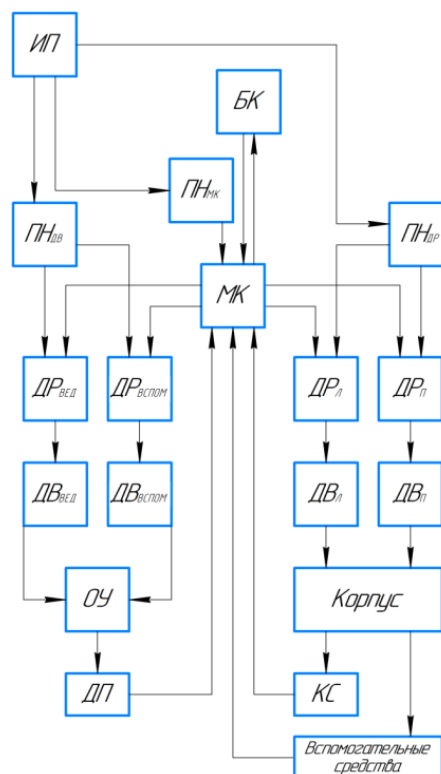
Энергетическое обеспечение работы устройств управления и перемещения осуществляется преобразователями напряжения (ПН). Преобразователи напряжения для двигателей шасси (ПН_ш) относятся к первому типу, преобразователи для двигателей манипулятора (ПН_{дв}) — ко второму типу, преобразователь напряжения для питания микроконтроллера (ПН_{мк}) — к третьему.

Структурная схема модуля управления показана на рис. 2.

Управление двигателем. Принцип управления каждым из установленных на робототехническом комплексе электродвигателей идентичен. В качестве примера рассмотрим способ управления ведущим двигателем манипулятора [5].

Рис. 2. Структурная схема модуля управления:

ИП — источник питания; БК — бортовой компьютер; МК — микроконтроллер; ОУ — объект управления, схват манипулятора; КС — комплекс сенсоров; ДП — датчик положения; ДР — драйвер (силовой мост); ДВ — электродвигатель; ПН — преобразователь напряжения



Общая схема управления в упрощенном виде изображена на рис. 3.

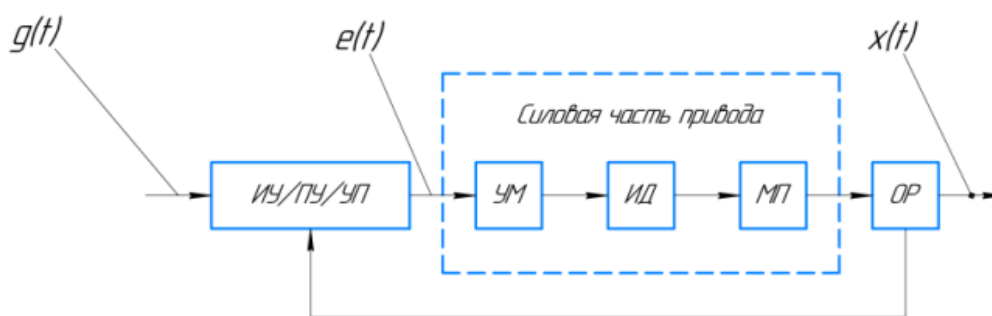


Рис. 3. Общая схема управления ведущим двигателем

ИУ — измерительное устройство; ПУ — преобразующее устройство; УП — предварительный усилитель; УМ — усилитель мощности сигнала; ИД — исполнительный двигатель; МП — механическая передача; ОР — объект регулирования; $g(t)$ — входное воздействие; $x(t)$ — выходной сигнал; $e(t)$ — сигнал ошибки системы

Для моделирования предложенной схемы использована среда Simulink, которая является частью пакета приложений для технических исследований MATLAB. Принципиальная схема управления ведущим двигателем изображена на рис. 4.

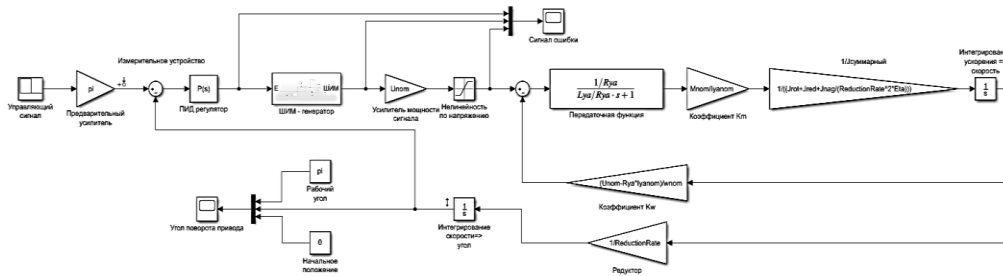


Рис. 4. Схема модели в Simulink

Зависимость сигнала напряжения в цепи якоря исполнительного двигателя от требуемой скорости вращения показана на рис. 5.

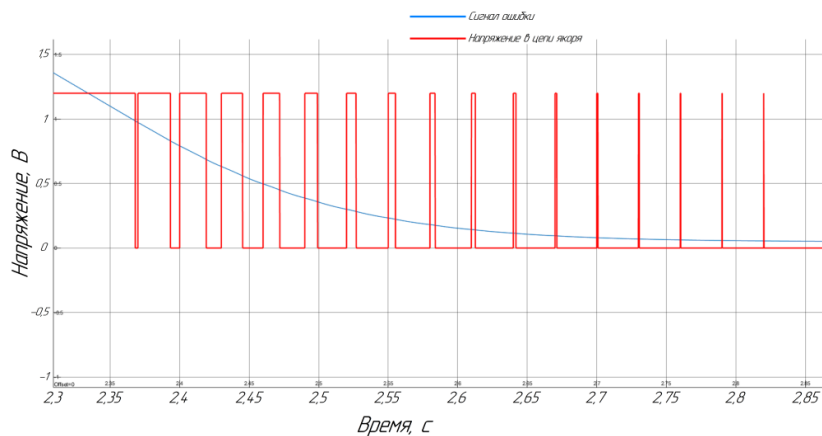


Рис. 5. ШИМ-сигнал цепи питания якоря (красным цветом показано значение напряжения в цепи якоря, синим цветом обозначено фактическое значение сигнала ошибки)

Выбор электронных компонентов управляющего модуля. Для разработки принципиальной электрической схемы модуля управления следует определить конкретные компоненты схемы.

Выбор интегрального ШИМ-контроллера. Для управления четырьмя электрическими двигателями с независимым движением предлагается использовать четыре канала с широтно-импульсным сигналом для управления всеми двигателями одновременно, что упрощает принципиальную схему.

Подходящим ШИМ-контроллером является Atmega16. Он имеет четыре выхода ШИМ-сигнала и 10 портов ввода-вывода.

Выбор протокола обмена с бортовым компьютером. Большинство бортовых компьютеров имеют интерфейс USB для подключения к периферии. В то же

время микроконтроллер Atmega16 может использовать несколько интерфейсов, в том числе интерфейс UART/USART, который будет применяться в данной схеме. Для преобразования интерфейса USB использован преобразователь на базе CP2102.

Выбор силовых модулей. Сила сигнала на контактах микроконтроллера недостаточна для прямого подключения к цепи электродвигателя. Для управления цепью питания достаточной мощности понадобятся силовые ключи [6].

Для ведущего двигателя манипулятора выбран полномостовой драйвер L298, который позволяет подключить двигатель в схему Н-моста и поддерживать напряжение на якоре до 5 В. Такой же драйвер предлагается использовать для ведомого двигателя ввиду схожести их технических характеристик [7, 8].

Выбор параметров ходовой части зависит от общей компоновки подсистем. На данном этапе можно выбрать двигатель мощностью 1 кВт. Для управления такими двигателями понадобится драйвер PowerSO-36, допускающий выходной ток 5,6 А.

Проектирование электрической схемы модуля управления. Выбранные компоненты позволяют разработать схему интегрированной системы управления двигателями малоразмерного робототехнического комплекса (рис. 6).

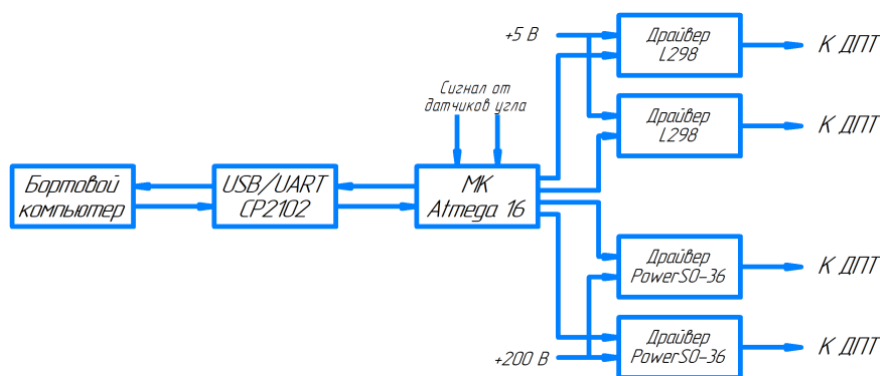


Рис. 6. Электрическая схема интегрированной системы управления двигателями

Заключение. Проведенные исследования и моделирование показали возможность реализации компактной системы управления разнотипными двигателями автономного комплекса для транспортировки груза за счет интегрирования функций управления с помощью многоканального ШИМ-контроллера. Для выработки актуального решения сформулировано техническое задание, учитывающее особенности операции перемещения потенциально опасных объектов в автономном режиме. Исследована возможность оптимизации числа каналов связи в модуле управления, что упрощает схему и делает ее более помехоустойчивой. Подобраны компоненты, входящие в состав схемы управления двигателями комплекса. Приведена электрическая схема модуля управления с уменьшенным числом каналов связи.

Литература

- [1] Лопота А.В., Николаев А.Б. Наземные робототехнические комплексы военного и специального назначения. СПб., ЦНИИ РТК, 2016.
- [2] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Федоренков А.П. Обоснование тактико-технических характеристик наземных мобильных робототехнических средств. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2013.
- [3] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Состав и характеристики мобильных роботов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [4] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Управление роботами и робототехническими комплексами. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2014.
- [5] Ким Д.П. Теория автоматического управления. М., Физматлит, 2003.
- [6] Семенов Б.Ю. Силовая электроника от простого к сложному. М., Солон-Пресс, 2005.
- [7] Maxon motor online catalog. *maxongroup.com: веб-сайт*. URL: <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/catalog/> (дата обращения: 20.01.2021).
- [8] Драйвер ключей. *chipdip.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/popular/drajver-klyuchej> (дата обращения: 20.01.2021).

Каныгин Андрей Владимирович — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Рубцов Василий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Каныгин А.В. Моделирование интегрированной системы управления двигателями автономного малоразмерного комплекса для транспортировки малых объектов. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 04(57). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-04-688>

MODELING AN INTEGRATED ENGINE CONTROL SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS SMALL-SIZED COMPLEX FOR TRANSPORTATION OF SMALL OBJECTS

A.V. Kanygin

kanyyginav1@student.bmstu.ru
SPIN-code: 9068-7041

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper is devoted to the problem of control optimization of a multipurpose robotic complex equipped with a manipulator for moving small objects. The author formulated terms of reference for solving this problem and proposed a variant of the implementation of a small-sized autonomous complex. A schematic diagram of the interaction of an engine control module, an on-board computer and an unmanned aerial vehicle is considered. The method of voltage control in the armature circuit of a single electric motor is presented. A method is proposed for reducing the number of signal transmission channels when combining several control channels for different types of electric motors based on a multichannel controller with pulse width modulation (PWM controller). The parameters of the electrical components of the circuit are selected. The electrical circuit of the integrated control module is simulated using a PWM controller

Keywords

Mobile robotic complex, motor control, control channels, electrical components, pulse width modulation, PWM controller, optimization of control channels, microcontroller, multichannel automatic control system

Received 01.02.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Lopota A.V., Nikolaev A.B. Nazemnye robototekhnicheskie komplekсы voennogo i spetsial'nogo naznacheniya [Ground robotic systems for military and special usage]. Sankt-Petersburg, TsNII RTK Publ., 2016 (in Russ.).
- [2] Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Fedorenkov A.P. Obosnovanie taktiko-tekhnicheskikh kharakteristik nazemnykh mobil'nykh robototekhnicheskikh sredstv [Operating characteristics justification of ground mobile robotic systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013 (in Russ.).
- [3] Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Rubtsov I.V. Sostav i kharakteristiki mobil'nykh robotov [Configuration and characteristics of mobile robots]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [4] Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Rubtsov I.V. Upravlenie robotami i robototekhnicheskimi kompleksami [Control on robots and robotic complexes]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [5] Kim D.P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automated control]. Moscow, Fizmatlit, 2003 (in Russ.).
- [6] Semenov B.Yu. Silovaya elektronika ot prostogo k slozhnomu [Power electronics from simple to complex]. Moscow, Solon-Press, 2005 (in Russ.).

- [7] Maxon motor online catalog. *maxongroup.com: website*. URL: <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/catalog/> (accessed: 20.01.2021).
- [8] Drayver klyuchey [Key driver]. *chipdip.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/popular/drajver-klyuchej> (accessed: 20.01.2021).

A.V. Kanygin — Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Rubtsov V.I., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Kanygin A.V. Modeling an integrated engine control system for an autonomous small-sized complex for transportation of small objects. *Politekhneskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 04(57). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-04-688.html> (in Russ.).