

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.316.719

DOI 10.26897/1728-7936-2018-3-59-64

ЮСУПОВ РАМАЗАН ХАБИБРАХМАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: jusupow@mail.ru

КОЛЕСНИК ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

СИСТЕМА АВАРИЙНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрен процесс аэрофотосъемки полей с помощью беспилотных летательных аппаратов. Анализ показывает, что из всех режимов полета летательных аппаратов (ЛА) наиболее сложным и напряженным является режим захода на посадку и непосредственно посадка. Что обусловлено большой степенью аварийности ЛА на этом режиме вследствие быстротечности процесса посадки. За последние сорок лет на этот режим пришлось около 55% всех потерь. Предлагается новая технология посадки сверхлегкого беспилотного летательного аппарата (БПЛА), не требующая сложного и дорогостоящего наземного посадочного оборудования и обеспечивающая при этом высокую вероятность неповреждения БПЛА. Эта технология заключается в регистрации факта разрядки аккумулятора БПЛА с помощью электромагнитного реле. При срабатывании последнего размыкается контакт в цепи питания электрических двигателей от аккумуляторной батареи и замыкается контакт в цепи питания электрических двигателей от заряженного конденсатора большой емкости либо в цепи управляющих электродов тиристорных преобразователей, включенных в цепь питания электрических двигателей. По мере разряда конденсатора напряжение на зажимах электрического двигателя падает, скорость вращения несущего винта снижается, обеспечивая плавную посадку БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, посадка, аварийность, конденсатор, тиристорный преобразователь, несущий винт, электрический двигатель, аккумуляторная батарея.

Введение. Успешность промышленного растениеводства в значительной степени зависит от своевременности получения информации о состоянии выращиваемых растений и возделываемых площадей. Качественный сбор этой информации выездными экспертными группами на больших территориях затруднен или даже невозможен. Решение проблемы может быть достигнуто аэрофотосъемкой, осуществляемой с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Из всех режимов полета летательных аппаратов (ЛА) наиболее сложным и напряженным является режим захода на посадку и непосредственно посадка. Связано это в первую очередь с большой степенью аварийности ЛА на этом режиме вследствие быстротечности процесса посадки [1-3]. Время на заход на посадку и посадку занимает не более

1...2% всего времени полета, однако на этот режим приходится более 50% всех авиационных происшествий (АП). За последние сорок лет на этот режим пришлось около 55% всех потерь.

Реализация автоматической посадки ЛА, что весьма актуально для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), представляет сложную задачу. В этом случае бортовая система управления должна решать задачи планирования действий, оценки текущего состояния и управления исполнительными органами. При этом система управления (СУ) должна обеспечивать устойчивость, малое время отработки больших отклонений, адаптивность к воздействию возмущений и точность выхода в заданную точку приземления [4-8].

В настоящее время получили распространение полностью автоматизированные беспилот-

ные летательные аппараты. Оператору БПЛА достаточно выбрать поле, на котором надо провести технологическую операцию (посев, внесение удобрения, контроль зараженности, контроль степени созревания и т.д.) и запустить БПЛА в небо. Далее аппарат будет работать самостоятельно: полет по заданному маршруту, проведение необходимой технологической операции и посадка в указанное оператором место. Но возникают определенные сложности при посадке. Если летательный аппарат обладает неподвижными крыльями, ему по определению требуется достаточно высокая скорость, чтобы не рухнуть вниз камнем. А на большой скорости задача точной навигации и контроля при посадке становится крайне непростой. Особенно для малых беспилотных летательных аппаратов, у которых нередко просто не хватает места и подъемной силы для размещения достаточного оборудования – особенно такого, которое совершенно бесполезно в 99% рабочего времени аппарата [9-12].

Цель исследований – создание технологии посадки сверхлегкого БПЛА, не требующей сложного и дорогостоящего наземного посадочного оборудования и обеспечивающей при этом высокую вероятность неповреждения БПЛА.

Задачей предлагаемой системы посадки является обеспечение безаварийной посадки сверхлегкого БПЛА вертолетного типа за счет применения не-

сложного посадочного оборудования, уменьшение массы и габаритов БПЛА.

Материал и методы. Предлагаемое техническое решение, позволяющее осуществить аварийную посадку БПЛА, включает регистрацию факта разрядки аккумулятора БПЛА с помощью электромагнитного реле, при срабатывании которого размыкается контакт в цепи питания электрических двигателей от аккумуляторной батареи и замыкается контакт в цепи питания электрических двигателей от заряженного конденсатора большой емкости либо в цепи управляющих элементов тиристорных преобразователей, включенных в цепь питания электрических двигателей (рис. 1, 2).

По мере разряда конденсатора напряжение на зажимах электрического двигателя падает, скорость вращения несущего винта снижается, обеспечивая плавную посадку БПЛА.

Результаты и обсуждение. Техническим результатом, реализуемым приведенной совокупностью признаков, является обеспечение безаварийной посадки, уменьшение массы и габаритов БПЛА.

Предложено два схемных решения для реализации поставленной задачи.

1. Исходное положение: БПЛА находится в неподвижном состоянии, ключи *SA1* и *SA2* разомкнуты, реле *KL1* отключено, контакты реле *KL1.1* в положении «а» (рис. 1).

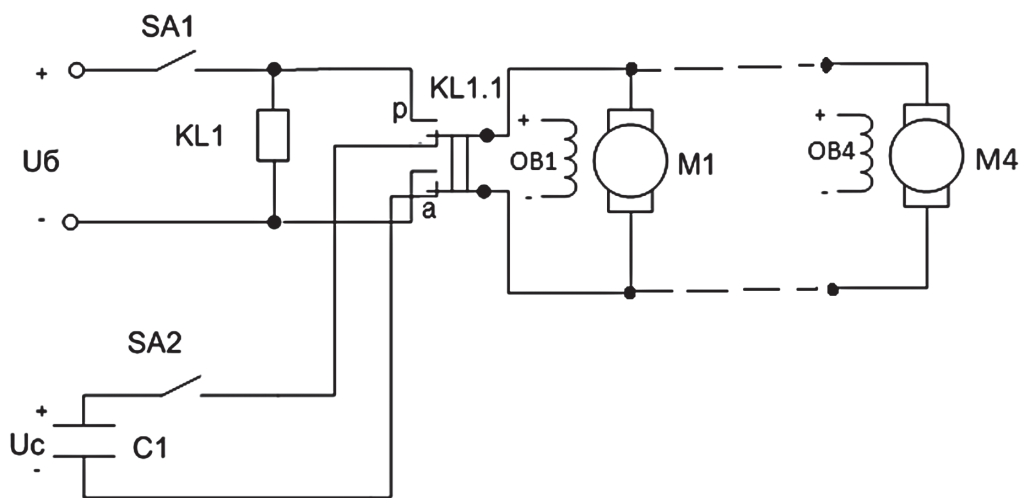


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема системы аварийной посадки БПЛА с релейным переключением

Для запуска БПЛА ключом *SA1* подается питание на обмотку реле *KL1*, реле сработает, его контакты *KL1.1* переключаются в положение «р» (рабочее), замыкается ключ *SA2*, напряжение источника питания U_6 поступает на зажимы электрических приводов несущего винта $M1...M4$. Несущий винт начинает вращаться, за счет подъемной силы БПЛА поднимается в воздух.

В аварийном режиме, в момент разрядки аккумуляторной батареи, реле *KL1* отключается, контакты *KL1.1* переключаются в положение «а» (аварийный режим), напряжение, снимаемое с обкладок конденсатора $C1$, через замкнутые контакты реле *KL1* подается на зажимы электрических двигателей $M1...M4$ несущего винта. БПЛА переходит в режим аварийной посадки.

В этом режиме несущий винт БПЛА продолжает вращаться за счет питания двигателей от заряженного конденсатора *С1*. По мере разряда конденсатора *С1* и снижения напряжения на его зажимах скорость вращения вала электрического двигателя падает и БПЛА с допустимой скоростью снижается до соприкосновения с землей.

2. Исходное положение: ключи *SA1* и *SA2* отключены, реле *KL1* отключено, контакты *KL1.1*, *KL1.4* разомкнуты, контакты *KL1.2*, *KL1.3* замкнуты, напряжение на управляющих электродах тиристорных преобразователей *VS1* и *VS2* равно

нулю, тиристоры закрыты, электрические двигатели *M1...M4* несущих винтов отключены (рис. 2). Контакты *KL1.3* и *KL1.4* предназначены для подачи отрицательных запирающих импульсов на управляющие электроды тиристоров *VS1* и *VS2*.

Для запуска БПЛА включается ключ *SA1*, при этом сработает реле *KL1*, контакты *KL1.1*, *KL1.4* замкнутся, контакты *KL1.2*, *KL1.3* разомкнутся, тиристор *VS1* откроется, замыкается ключ *SA2*, электрические двигатели *M1...M4* включаются, БПЛА взлетает.

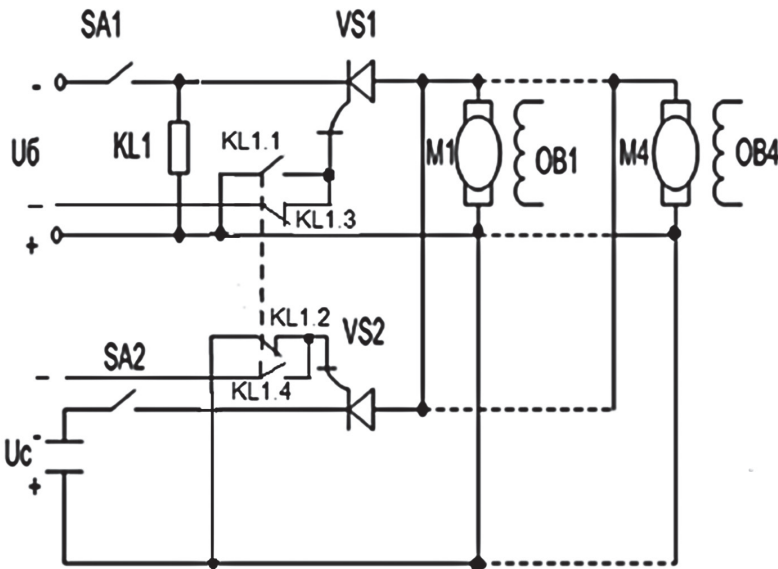


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы аварийной посадки БПЛА с тиристорным преобразователем

При полном разряде аккумуляторной батареи (аварийный режим) обмотка реле *KL1* потеряет питание, реле отключится, контакт *KL1.1* разомкнется, контакт *KL1.3* замкнется, при этом на управляющий электрод тиристора *VS1* будет подан отрицательный запирающий импульс, тиристор *VS1* закроется. Благодаря замыкающемуся контакту *KL1.2* тиристор *VS2* откроется, конденсатор *С1* подключается к зажимам электрических двигателей *M1...M4*, под напряжением *Uс* двигатели продолжают работать со снижающейся скоростью вращения несущего винта, БПЛА с допустимой скоростью снижается до соприкосновения с землей.

Расчет емкости конденсатора. Емкость конденсатора *С* рассчитывается из условий, что нормативная высота полета БПЛА сельскохозяйственного назначения равна $h = 61$ м, а скорость снижения при аварийной посадке БПЛА $v = 2,5$ м/с. Отсюда время аварийной посадки суть время переходного процесса конденсатора $t_{\text{пн}} = h/v = 61/2,5 = 24,4$ с. Постоянная времени конденсатора τ в 4,6 раза меньше времени переходного процесса $t_{\text{пн}}$:

$$\tau = t_{\text{пн}}/4,6 = 24,4/4,6 = 5,3 \text{ с.}$$

Из соотношения для постоянной времени конденсатора $\tau = CR_{\Sigma}$ определим расчетное значение емкости конденсатора:

$$C = \tau/R_{\Sigma},$$

где $R_{\Sigma} = R_{\text{с}} + R_{\text{я}} = E/I_{\text{я}} + R_{\text{я}}$; $R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря двигателя постоянного тока несущего винта БПЛА, Ом; $R_{\text{с}} = E/I_{\text{я}}$ – сопротивление, падение напряжения на котором равно электродвижущей силе E двигателя постоянного тока (ДПТ) несущего винта БПЛА, Ом.

$$E = U_6 - I_{\text{я}} R_{\text{я}},$$

где E – электродвижущая сила обмотки электрического двигателя, В; U_6 – напряжение источника питания, В; $I_{\text{я}}$ – номинальная сила тока обмотки якоря ДПТ, А.

Произведем расчет емкости конденсатора для бесколлекторного электродвигателя ARES PRO SPEC kV2200 – SK-400003-31.

Технические характеристики электродвигателя ARES PRO SPEC kv2200 – SK-400003-31

Мощность	130 Вт
Максимальное напряжение	3,7...11,1 В
Номинальный ток	16,25 А
Внутреннее сопротивление	0,0514 Ом
Обороты в секунду на Вольт	2200 об/(сВ)

Номинальная сила тока $I = P/U = 130/8 = 16,25 \text{ А}$;

$$E = U_6 - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 8 - 16,25 \cdot 0,0514 = 7,165 \text{ В};$$

$$R_{\text{е}} = E/I_{\text{я}} = 7,165/16,25 = 0,441 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = R_{\text{е}} + R_{\text{я}} = E/I_{\text{я}} + R_{\text{я}} = 0,441 + 0,0514 = 0,492 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление определяется делением $R_{\Sigma}/4$, поскольку обмотки двигателей $M1...M4$ включены параллельно.

$$R_{\text{экв}} = 0,492/4 = 0,123 \text{ Ом};$$

$$C = \tau/R_{\text{экв}} = 5,3/0,123 = 43 \text{ Ф}.$$

На основе результатов расчета по справочнику выбираем электрооборудование:

1. Суперконденсатор СКФ-50-3В0: номинальная ёмкость 50 Ф; номинальное напряжение 3 В; габаритные размеры: $D = 18 \text{ мм}$, $L = 40 \text{ мм}$, вес 13,5 г [13].
2. Реле RXM4AB1BD: 24 В, 6 А, размеры $7 \times 40 \times 27 \text{ мм}$, 4 перекидных контакта, вес 37 г [14].
3. Реле JQX-38F: 12 В, 40 А, размеры $50,5 \times 42,2 \times 55,3 \text{ мм}$, 3 перекидных контакта, вес 133 г [15].
4. Тиристор запираемый 2У204 А, КУ204 А: 50 В, 2 А, размеры $D11$, $L24 \text{ мм}$, вес 14 г [16].

Выводы

1. Предлагаемое техническое решение представляет собой несложную, а следовательно, надежную систему, обладающую малыми массой, габаритами и стоимостью, позволяющую успешно осуществить аварийную посадку БПЛА.
2. Предложена методика расчета емкости конденсатора, подключаемого к электрическим двигателям при разряде аккумуляторной батареи.

Библиографический список

1. Анализ функционирования систем автоматической посадки беспилотной авиации. URL: <http://www.trafficease.ru/gtc-324.html> (дата обращения: 17.02.2018).
2. Косова А.Е., Кориков А.М. Автоматическая посадка малых беспилотных летательных аппаратов с использованием компьютерного зрения // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20. № 3. С. 191-196.

URL: <https://journal.tusur.ru/storage/66106/29-Косова-Кориков.pdf?1507096938> (дата обращения: 17.02.2018).

3. Системы посадки беспилотного летательного аппарата. URL: <http://www.primaria.ru/ru/305#more-305> (дата обращения: 17.02.2018).

4. Пучков А.В., Харин В.А., Хорошко А.Ю., Новоселова В.О. Автоматическая посадка беспилотных летательных аппаратов. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27475562> (дата обращения: 17.02.2018).

5. Шилов К.Е. Разработка системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультиторного типа // Труды МФТИ. 2014. Т. 6. № 4. С. 139-143. URL: <https://mipt.ru/upload/medialibrary/72e/139-152.pdf> (дата обращения: 17.02.2018).

6. Разработка и внедрение системы автоматической посадки БПЛА малого класса самолетного типа на динамическую платформу с использованием интеллектуальной системы технического зрения. URL: <https://4science.ru/conference2015/theses/14.607.21.0127> (дата обращения: 17.02.2018).

7. Попов А.К., Миллер А.Б., Степанян К.В., Миллер Б.М. Моделирование процесса навигации БПЛА с использованием двух бортовых камер, смещенных по высоте. URL: http://itas2017.iitp.ru/media/papers/1570366246_1A9udGH.pdf (дата обращения: 17.02.2018).

8. Петухова Е.С. Автономная бортовая система управления посадкой беспилотного летательного аппарата самолетного типа на движущееся судно: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2013. 17 с.

9. Шаров Д.С., Овинов А.В. Способ парашютной посадки беспилотного летательного аппарата и беспилотный летательный аппарат с электрическим двигателем и парашютной системой посадки. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/259/2592963.html> (дата обращения: 17.02.2018).

10. Булгаков Д.В., Пугачев Ю.Н., Тетюшев М.А. Беспилотный летательный аппарат с парашютной системой посадки. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2592961C2/ru> (дата обращения: 17.02.2018).

11. Способ парашютной посадки беспилотного самолета и парашютная система посадки беспилотного самолета. URL: http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/2043/ (дата обращения: 17.02.2018).

12. Парашютная система спасения авиационной модели. URL: <http://www.kvand-is.com/produktsiya/>

parashyutnye-sistemy-ekstrennogo-spaseniya-dlya-bla (дата обращения: 17.02.2018).

13. Суперконденсатор СКФ-50-3В0. URL: https://www.ultracapacitor.ru/product_info/40/ (дата обращения: 17.02.2018).

14. Реле RXM4AB1BD. URL: <http://acti-pro.ru/produksiya/miniaturnyie-rele-schneider-electric-zelio-relay-rxm/rxm4ab1bd.html> (дата обращения: 17.02.2018).

15. Реле JQX-38F. URL: <https://www.scatt-technology.ru/rele/ac/jqx-38f-220vac-40amper/> (дата обращения: 17.02.2018).

16. Тиристор запираемый 2У204 А, КУ204 А. URL: <http://asest.com/357-2u204a-2u204b-2u204v-ku204a-ku204b-ku204v> (дата обращения: 17.02.2018).

Статья поступила 19.02.2018

EMERGENCY LANDING OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR AGRICULTURAL PURPOSE

RAMAZAN Kh. YUSUPOV, DSc (Eng). Professor

E-mail: jusupow@mail.ru

LYUBOV V. KOLESNIK

E-mail: lyubovk88@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The paper considers a process of aerial photography of fields with the help of unmanned aerial vehicles. The analysis shows that among all flight modes of an aerial vehicle (AV) the most difficult and tense ones are the approach and landing modes. This is due to the high AV accident rate in this mode as a result of the instantaneous manner of the landing process. Over the past forty years, this mode has accounted for about 55% of all losses. The authors suggest a new technology for landing an ultralight unmanned aerial vehicle (UAV), which does not require complex and costly ground landing equipment and thus provides a high probability of non-damage to the UAV. This technology is based on recording the fact of the UAV battery discharge using an electromagnetic relay. The actuation of the relay opens the contact in the power supply circuit of electric motors from the battery and closes off the contact in the power supply circuit of electric motors from the charged large-capacity condenser, or in the control electrode circuit of thyristor converters included in the power supply circuit of electric motors. As the condenser discharges, the voltage at the electric motor terminals drops and the rotation speed of the rotor decreases, thus ensuring smooth landing of the UAV.

Keywords: unmanned aerial vehicle, landing, accident rate, condenser, thyristor converter, rotor, electric motor, rechargeable battery.

References

1. Analiz funkcionirovaniya sistem avtomaticheskoy posadki bespilotnoy aviatsii [Analysis of the functioning of the automatic landing of unmanned aviation systems]. URL: <http://www.traffice.ru/gtc-324.html> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

2. Kosova A. Ye., Korikov A.M. Avtomaticheskaya posadka mal'nykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov s ispol'zovaniyem komp'yuternogo zreniya [Automatic landing of small unmanned aerial vehicles based on computer vision]. *Doklady TUSURa*. T. 20. No. 3. 2017. Pp. 191-196. URL: <https://journal.tusur.ru/storage/66106/29-Kosova-Korikov.pdf?1507096938> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

3. Sistemy posadki bespilotnogo letatel'nogo apparata [Landing systems of an unmanned aerial vehicle]. URL: <http://www.primaria.ru/ru/305#more-305> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

4. Puchkov A.V., Kharin V.A., Khoroshko A.Yu., Novoselova V.O. Avtomaticheskaya posadka bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Automatic landing of unmanned aerial vehicles]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27475562> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

5. Shilov K.Ye. Razrabotka sistemy avtomaticheskogo upravleniya bespilotnym letatel'nyim apparatom mul'tirotnogo tipa [Development of automatic control system of an unmanned aerial vehicle of a multirotor type]. *Trudy MFTI*. 2014. Vol. 6. No. 4. Pp. 139-143. URL: <https://mipt.ru/upload/medialibrary/72e/139-152.pdf> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

6. Razrabotka i vnedreniye sistemy avtomaticheskoy posadki BPLA malogo klassa samoletnogo tipa na dinamicheskuyu platformu s ispol'zovaniyem intellektual'noy sistemy tekhnicheskogo zreniya [Development and implementation of the automat-

ic landing system of small class aircraft type UAVs for a dynamic platform using a machine vision system]. URL: <https://4science.ru/conference2015/theses/14.607.21.0127> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

7. Popov A.K., Miller A.B., Stepanyan K.V., Miller B.M. Modelirovaniye protsessa navigatsii bespilotnyy letatel'nyy apparat s ispol'zovaniyem dvukh bortovykh kamer, smeshchennykh po vysote [Simulation of unmanned aerial vehicle navigation using two on-board cameras offset by height]. URL: http://itas2017.iitp.ru/media/papers/1570366246_1A9udGH.pdf (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

8. Petukhova Ye.S. Avtonomnaya bortovaya sistema upravleniya posadkoy bespilotnogo letatel'nogo apparata samolotnogo tipa na dvizhushcheyesya sudno [Autonomous board system of controlling landing of an unmanned aerial vehicle of an aircraft type on a moving ship]: Abstract of PhD (Eng) thesis. Sankt-Peterburg, 2013. 17 p. (In Rus.)

9. Sharov D.S., Ovinov A.V. Sposob parashyutnoy posadki bespilotnogo letatel'nogo apparata i bespilotnyy letatel'nyy apparat s elektricheskim dvizhitelem i parashyutnoy sistemoy posadki [A method of parachute landing of an unmanned aerial vehicle and an unmanned aerial vehicle with an electric engine and a parachute landing system]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/259/2592963.html> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

10. Bulgakov D.V., Pugachev Yu.N., Tetyushev M.A. Bespilotnyy letatel'nyy apparat s parashyutnoy sistemoy posadki [An unmanned aerial vehicle

with a parachute landing system]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2592961C2/ru> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

11. Sposob parashyutnoy posadki bespilotnogo samoleta i parashyutnaya sistema posadki bespilotnogo samoleta [A method of parachute landing of an unmanned aircraft and a parachute landing system of an unmanned aircraft]. URL: http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/2043/ (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

12. Parashyutnaya sistema spaseniya aviatsionnoy modeli [A parachute rescue system of an aircraft model]. URL: <http://www.kvand-is.com/produktsiya/parashyutnye-sistemy-ekstrennogo-spaseniya-dlya-bla> (Access date 17.02.2018) (In Rus.)

13. Superkondensator SKF-50-3V0 [SKF-50-3V0 Supercondenser]. URL: https://www.ultracapacitor.ru/product_info/40/ (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

14. Rele RXM4AB1BD [RXM4AB1BD Relay]. URL: <http://acti-pro.ru/produktsiya/mini-atyurnyie-rele-schneider-electric-zelio-relay-rxm/rxm4ab1bd.html> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

15. Rele JQX-38F [JQX relay-38F]. URL: <https://www.scad-technology.ru/rele/ac/jqx-38f-220vac-40amper/> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

16. Tiristor zapirayemyy 2U204 A, KU204 A [Lockable thyristor 2U204 A, KU204 A]. URL: <http://asest.com/357-2u204a-2u204b-2u204v-ku204a-ku204b-ku204v> (Access date 17.02.2018). (In Rus.)

The paper was received on February 19, 2018