

А. И. Мельничук, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков

## СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ

A. I. Mel'nichuk, N. V. Goryachev, N. K. Yurkov

### WAYS AND MEANS OF COUNTERING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Аннотация.** Беспилотные и дистанционно пилотируемые летательные аппараты (БПЛА и ДПЛА соответственно) уже сегодня нашли широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека. БПЛА активно используются в сельском хозяйстве, мониторинге, логистике, контроле за опасными объектами. Но, как часто бывает при техническом прогрессе, передовые разработки начинают активно применяться в военных целях. И сегодня БПЛА, в том числе малые, стали реальной угрозой, не только для военных, но и для мирных граждан. Целью данной работы является обоснование способов и средств противодействия ударным БПЛА, а также оценка поражающей возможности боеприпаса с выбором формы, массы и материала поражающих элементов. Предложена и обоснована концепция универсального боеприпаса, способного обеспечить оперативный ответ на воздушные угрозы техники и личному составу, исходящие от беспилотных летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** дрон, противодействие, функциональное подавление, беспилотный, аппарат, электромагнитное оружие.

**Abstract.** Unmanned and remotely piloted aerial vehicles (UAVs and RPVs, respectively) have already found wide application in various areas of human life. UAVs are actively used in agriculture, monitoring, logistics, control of hazardous objects. But, as is often the case with technological progress, advanced developments are beginning to be actively used for military purposes. And today UAVs, including small ones, have become a real threat, not only for the military, but also for civilians. The purpose of this work is to substantiate the methods and means of countering strike UAVs, as well as to assess the destructive capabilities of the ammunition with the choice of the shape, mass and material of the striking elements. The concept of a universal ammunition capable of providing an operational response to air threats to equipment and personnel emanating from unmanned aerial vehicles is proposed and substantiated.

**Keywords:** drone, countermeasures, functional suppression, unmanned, apparatus, electromagnetic weapons.

В современном мире трудно представить воздушное пространство без беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Стремительно растет количество случаев использования дронов как для государственных целей, так и для частного их использования

Распространенное применение БПЛА обусловлено широким кругом задач, решаемых ими. Постепенно дроны не только вытесняют пилотируемые летательные аппараты (которые используются для поиска очагов пожара, проверки целостности трубопроводов, для обнаружения аварий, заторов на дорогах и реках и т.д.), но и вполне могут найти свое применение в тех областях, которые не входили в сферу интересов авиации ранее (например, доставка малых грузов или в дальнейшем – аэротакси) [1].

Активное развитие рынка БПЛА неотрывно связано с возросшими несчастными случаями, причиной которых является стремительный рост эксплуатируемых дронов [2].

Существующие риски столкновения с пассажирскими летательными аппаратами возле аэродромов, слежки за частной жизнью, возможных падений БПЛА на случайных прохожих, аварий телекоммуникационных и энергетических линий вследствие выхода из строя дронов купируются, как правило, административными барьерами и наказаниями в случае нарушений законодательства [3]. С распространением технологии дронов и их всеобщей доступности появляется угроза их применения как террористическими организациями с целью разведки секретных, охраняемых объектов с последующими диверсиями, контрабандой опасных веществ, нападениями с помощью БПЛА, используемых как транспорт взрывчатых или химических отравляющих веществ, так и в хулиганских

целях. В 2019 г. в Объединенных Арабских Эмиратах произошло возгорание двух крупных месторождений нефти. Причиной возгораний стала атака беспилотных летательных аппаратов. Добыча нефти уменьшилась в два раза, что имело последствия не только в нефтеперерабатывающей промышленности, но и в экономике ряда стран.

В виду преимуществ БПЛА над пилотируемыми летательными аппаратами (более низкая стоимость, отсутствие летного состава, возможность передачи информации в режиме реального времени, создание узкоспециализированных машин) ведется их активная разработка, а также развитие и принятие на вооружение армиями иностранных государств [4].

В соответствии с появившимися вызовами и угрозами безопасности разрабатываются средства противодействия дронам, которые в свою очередь имеют как ряд преимуществ, так и свои недостатки. По большей части тактика борьбы с БПЛА сводится к захвату, постановке помех, уничтожению и выводе из строя [5].

Захват БПЛА может быть выполнен несколькими методами:

1) **захват сетью.** Метод воплощен в жизнь рядом исполнений:

– наземного – выстрелом специальными снарядами. Отрицательный аспект заключается в малой дальности;

– воздушного – выстрелом с БПЛА-охотника. Минус – ограниченное количество выстрелов и быстрое израсходование боеприпасов, после чего должно производиться пополнение на базе; ручное управление и прицеливание;

2) **перехват управления.** К положительным моментам можно отнести безопасность и получение исчерпывающей информации о противнике. К негативным – такой метод не высокоэффективен с дронами, защищенными к перехвату управления.

Принципы уничтожения и способы вывода из строя дронов весьма обширны:

1. Поражение БПЛА огневými средствами с земли или воздуха. Уничтожение производится стрелковым вооружением. Из преимуществ можно отметить универсальность принципа. К недостаткам относятся ведение огня по малозаметной, маневренной цели, что составляет низкую эффективность.

2. Уничтожение БПЛА другим БПЛА либо специальным снарядом (дробью). Очевидным преимуществом является простота реализации. Недостатками данного метода являются обучение оператора-охотника на дрона, сложность попадания, невозможность применения при больших скоплениях людей.

3. Уничтожение огневými средствами артиллерии либо ПВО. К минусам метода относятся – нецелесообразность расходования дорогостоящих средств поражения для уничтожения низкобюджетных дронов.

4. Уничтожение аппарата лазером. Преимуществом данного метода является не только физическое уничтожение беспилотного аппарата, но и постановка помех в области оптического диапазона, вывод из строя оптико-электронной части аппарата. Изъяном данного метода можно признать вес оборудования, сложность конструкции и эксплуатации в полевых условиях.

5. Ликвидация дрона микроволнами (СВЧ-пушки). Превосходство метода заключается в обширной зоне поражения. Недостаток метода заключается в том, что такая система (как и лазер) обладает большими массогабаритными показателями, вследствие чего под воздействие попадают и ее радиоэлектронные системы [6].

6. Уничтожение дронов хищными птицами. К существенным минусам метода относятся реализация метода в стационарном виде, трудности обучения хищных птиц и уход за ними. В условиях современной войны, где решающее значение играет скорость и маневр, такое решение вряд ли окажется эффективным.

7. Воздействие на беспилотный летательный аппарат виркатором. Суть метода заключается в ускорении электронов анодной сеткой. Мощность прибора может достигать от 400 кВт – 4 ГВт. Продолжительность импульса составляет несколько микросекунд. Так как в принцип действия виркатора заложен принцип резонанса, то его действие в силу резонансного принципа носит узкополосный (1–2 % от центрального значения длины волны) и направленный характер (единицы градусов). Габариты составляют приблизительно 2 куб. Скрытность атаки достигается тем, что без специальных приборов атаку невозможно обнаружить. В случае неудачи возможно повторить по-

пытку диверсии. Основной недостаток виркаторов – работа в узком диапазоне частот, большие затраты на необходимый источник мощности.

8. Полупроводниковые генераторы наносекундных импульсных помех. Принцип действия генераторов основан на эффекте SOS (Semiconductor Opening Switch – полупроводниковый размыкатель) – наносекундной коммутации сверхплотных токов в специальных полупроводниковых диодах. Среди преимуществ генераторов данного типа представлены сверхширокополосность, массогабаритные размеры, круговая диаграмма направленности и большая продолжительность излучения [7]. Осуществляется противодействие БПЛА электромагнитным оружием со сверхкоротким электромагнитным импульсом и создание электромагнитного импульса взрывомагнитным генератором. Данный способ основывается на влиянии электромагнитного импульса на радиоэлектронную аппаратуру. Достоинством метода можно считать широкий спектр действия на радиоэлектронную аппаратуру, вследствие чего нарушаются каналы связи и управления, происходит сбой в работе управляющей электроники БПЛА, возможность создания небольших электронно-импульсных снарядов. Также, в зависимости от воздействующего импульса, возможна нелетальность оружия – действие на живые организмы ограничиваются нагреванием определенных органов, изменением психосоматики человека, оказавшегося под воздействием. Действие импульса распространяется и на выключенную аппаратуру. Любая кабель, антенна, провод будет служить проводником разрушающего сигнала уже в самом аппарате, усиливая эффект поражающего воздействия. Даже пару десятков вольт, наведенных на полупроводниковых устройствах, могут вызвать необратимые отказы. Изъяном данного противодействия нужно назвать относительно малую мощность и радиус поражения [8].

9. Выстрел краской по оптическим приборам БПЛА. К позитивным моментам относятся утрата ориентировки оператором дрона, невозможность разведки, сбора информации и прерывание выполнения задания. К отрицательным – БПЛА возможно восстановить и выстрел краской не всегда точен.

Наиболее предпочтительным из приведенных способов можно считать электромагнитный способ (сверхкороткий электромагнитный импульс). Он наиболее эффективен вследствие конструктивных особенностей дронов (корпус выполнен, как правило, из композита и пластика для уменьшения массогабаритных показателей) и его действие распространяется не на конкретную цель, а на определенную площадь.

Идею использования электромагнитного оружия высказал академик Андрей Дмитриевич Сахаров, предложивший создать сверхсильные импульсные магнитные поля так называемыми «взрывомагнитными генераторами» [9].

В настоящее время их спроектировано и создано несколько типов: спиральный, дисковый и т.д. Их действие основано на создании мощного электромагнитного поля в пространстве путем резкого изменения площади, через которую протекает магнитная индукция. Как правило, для быстрого изменения площади применяют заряды взрывчатого вещества, размещенного вокруг катушки и вырабатывающего электромагнитный импульс путем разряда конденсатора. По мнению большинства военных экспертов, электромагнитное оружие на основе излучателей СШП ЭМИ будет являться одним из главных видов оружия в 21 веке. Электромагнитное оружие обладает такими преимуществами, как скрытность, эффективность, избирательность воздействия, гуманность.

Таким образом, существует множество способов борьбы с дронами, но каждый конкретный способ имеет свои достоинства и недостатки. Целесообразно объединить несколько путей решения данной проблемы, которые бы дополняли друг друга, перекрывая все изъяны, как это сделано в работах [16, 17]. Исходя из реалий развития дронов, можно предположить, что средства противодействия должны обладать способностями борьбы как с отдельными БПЛА, так и действующими согласованно в группах, например, сочетание взрывного магнитного генератора, краски и графитовой пыли в одном заряде либо виркатора, взрывного магнитного генератора, гранаты для уничтожения простыми огневыми средствами.

Для оценки поражающей возможности боеприпаса целесообразно рассмотреть каждый вид поражающего фактора отдельно.

Оценку поражающих возможностей гранаты или мины рационально произвести в зависимости от ее типа. В настоящее время промышленностью выпускаются несколько видов гранат: осколочного типа и с готовыми поражающими элементами.

Для оценки выбора типа снаряда, массы и количества поражающих элементов необходимо произвести расчеты, принимая некоторые математические допущения.

Необходимо принять во внимание тот факт, что тип снаряда должен определяться не только своим поражающим действием по цели, но и его возможностью универсального применения как по воздушным, так и по наземным целям. Тактическая обстановка боя диктует необходимость в оперативном ответе на воздушные угрозы техники и личного состава, исходящие в том числе и от дронов, попадание даже одного осколка для которых может быть критично, несущих различные заряды взрывчатого вещества. Таким вариантом универсального боеприпаса мог бы стать 57-мм снаряд, исходя из того, что почти вся легкая бронетехника создается из расчета устойчивости к 30-мм автоматическим пушкам. Подобный боеприпас также применялся и в ПВО (примером можно считать ЗСУ-57-2) [10–13].

При взрыве образуется сфера поражения с равномерно распределенными осколками, чем больше дрон, тем большая вероятность его поразить на удалении от взрыва боеприпаса.

Для простоты расчетов примем высоту и ширину беспилотного летательного аппарата за 0,5 м (чем больше размер БПЛА, тем легче поразить его), тогда площадь возможного поражения составит 0,25 м<sup>2</sup>, чем больше аппарат, тем вероятнее его поразить и на более удаленных расстояниях.

Для расчета потребного количества осколков с вероятностью поражения 100 % площадь промежуточных разлета осколков должна быть 2,5 м<sup>2</sup>:

$$0,25 / 0,1 = 2,5 .$$

Тогда потребное количество осколков

$$N = \frac{4\pi R^2}{2,5} .$$

Наиболее эффективны осколки массой 2–5 г. Учитывая это,

$$N = \frac{4\pi R^2}{2,5} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 3^2}{2,5} = 45,216 \approx 45 .$$

Оценим количество осколков, образующихся после взрыва (осколки весят от 2 до 5 г, при этом масса корпуса боеприпаса, образующего осколки, должна быть в пределах 135 г):

$$R = \sqrt[2]{\frac{S_{ц} M_{м}}{4\pi K m_0}} ,$$

$R$  – расчетный радиус поражения;  $S_{ц}$  – площадь проекции цели (БПЛА – 0,25 кв.м.);  $M_{м}$  – масса корпуса гранаты, образующая осколки;  $K_{п}$  – коэффициент поражения для вероятности в 90 %;  $m_0$  – расчетная масса одного осколка [14, 15].

Стандартный осколочный снаряд (поражающий большим числом однотипных поражающих элементов) 57 мм имеет массу 2,8 кг, учитывая этот факт:

$$R_1 = \sqrt[2]{\frac{S_{ц} M_{м}}{4\pi K m_0}} = \sqrt[2]{\frac{0,25 \cdot 2800}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,9 \cdot 3}} \approx 5 \text{ м} .$$

Таким образом, радиус сплошного поражения осколочной гранатой с 90 %-й возможностью попадания лежит на расстоянии цели от подрыва снаряда в 5 м.

Для оценки параметров взрыва снаряда применяются стандартные осколочные цилиндры для определения метательных и дробящих свойств.

Получаемая максимальная скорость осколками в случае сферической симметрии найдем из уравнения Покровского – Гарни:

$$V_0 = 0,5\varphi_0 D \sqrt{\frac{5\alpha}{10 - 4\alpha}} ,$$

где  $D$  – скорость детонации заряда, м/с;  $\varphi_0$  – для оболочки заданного дробления  $\varphi_0 = 0,90 \dots 0,95$ ;  
 $\alpha = \frac{m_{\text{вв}}}{M}$ ;  $m_{\text{вв}}$  – масса;  $M$  – масса корпуса снаряда, образующая осколки.

Для тротила  $D = 6950$ , масса оболочки снаряда – 2,8 кг, масса взрывчатого вещества – 0,153 кг

$$V_0 = 0,5 \cdot 0,93 \cdot 6950 \sqrt{\frac{5 \cdot 0,2732}{10 - 4 \cdot 0,2732}} \approx 540 \text{ (м/с)}.$$

Для дальнейших расчетов переведем в км/с: 540 м/с = 0,54 км/с.

Общее количество осколков, образующихся при подрыве, возможно вычислить из формулы

В. А. Одинцова

$$N_{0,5} = K \frac{\alpha}{\Psi} d_0 D^2,$$

$D$  – скорость детонации заряда, км/с;  $\alpha = \frac{m_{\text{вв}}}{M}$  – коэффициент наполнения;  $m_{\text{вв}}$  – масса;  $M$  – масса корпуса снаряда, образующая осколки;  $\Psi$  – относительное сужение материала оболочки при взрыве (для стали С-60 согласно ГОСТ 1050-2013 равен 35);  $d_0$  – внешний диаметр оболочки при взрыве, дм;  $K$  – коэффициент, зависящий от геометрической формы оболочки (принят равным 80)

$$N_{0,5} = K \frac{\alpha}{\Psi} d_0 D^2;$$

$$N_{0,5} = 80 \cdot \frac{0,2732}{35} \cdot 57 \cdot 6,950^2 \approx 1719.$$

Для оценки пробития (механизмов взаимодействия осколков с преградами) цели в диапазоне скоростей до 2000 м/с воспользуемся переходной схемой, в которой используется критерий удельного импульса  $i = mv_0/(S) \geq i_{\text{кр}}$ , критическое значение удельного импульса линейно зависит от толщины преграды

$$i_{\text{кр}} = i_h h_{\text{пр}}.$$

Для пары сталь-дюраль (наиболее частый применяемый в авиации материал для создания крыла и фюзеляжа)

$$\frac{h_{\text{пр}}}{m^{1/3}} = \frac{v}{66\Phi}, \quad V_{\text{псп}} = \frac{66h_{\text{д}}^3\Phi}{m^{1/3}},$$

где  $h_{\text{пр}}$  – в мм;  $m$  – в г,  $v_0$  – в км/с;  $V_{\text{псп}}$  – предельная скорость пробития  $\Phi = 1,38$ .

Таблица 1

Форма тела	$\Phi$
Шар	1,31
Цилиндр	
$L/d = 1$	1,38
$L/d = 1$	1,45
Тетраэдр	1,80
Октаэдр	1,43
Куб	1,50
Параллелепипед	
$1 \times 1 \times 2$	1,58
$1 \times 1 \times 8$	2,13
$1 \times 1 \times 2$	1,59
$1 \times 2 \times 4$	1,89

При компактной форме ударника в виде цилиндра 1:1 ( $\Phi = 1,38$ , табл. 1) для пары «сталь-дюраль» получим

$$\frac{h_{np}}{m^{1/3}} = 9,7v_0,$$

откуда

$$h_{np} = 9,7V_0 m^{1/3};$$

$$h_{np} = 9,7 \cdot 0,54m^{1/3}.$$

Ниже приведена табл. 2 толщины пробития в мм в зависимости от массы осколка в граммах при расчетной начальной скорости.

Таблица 2

$m_{оск}, \Gamma$	$h_{пр}, \text{мм}$
3	7,56
5	8,96
8	10,48
16	13,2
32	16,63
64	20,95
128	26,40

Произведем расчет убойного интервала (расстояния от места взрыва, на котором осколок еще сохраняет скорость, необходимую для поражения цели – убойную скорость)

$$I_{уб} = 145 \frac{m^{1/3}}{C_x \Phi} \lg \frac{V_0}{V_{уб}},$$

где  $I_{уб}$  – убойный интервал, м;  $m$  – масса осколка;  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления (для оценки принят 1,21);  $\Phi$  – параметр формы осколка (принят 1,38);  $V_{уб}$  – убойная скорость осколка, при тех же допущениях:

$$V_{уб} = 145 \frac{h_{ст}^3 \Phi}{m^{1/3}},$$

где  $h_{ст}^3$  – стальной эквивалент цели, мм, принят равным 2 мм;  $\Phi$  – параметр формы осколка (принят 1,38);  $m$  – в г.

Таблица убойной скорости и убойного интервала для осколков с различным весом представлена ниже (табл. 3).

Таблица 3

$m_{оск}, \Gamma$	$V_{уб}, \text{м}$	$I_{уб}, \text{м}$
3	277,483	36,214
5	234,038	53,917
8	200	74,879
16	158,819	116,298
32	126,055	174,19
64	100,05	254,392
128	79,41	364,336

Исходя из вычислений целесообразно выбрать форму осколков, имеющих геометрическую форму параллелепипеда весом 3–5 г. Дробление осколков одинаковой массы и формы может быть

обеспечено проточками стенок по выбранным сечениям (предположительно согласно выбранной форме). Для более совершенного регулярного дробления предлагается выбрать способ проточки поверхностей с двух сторон (часто в случае проточки лишь одной поверхности осколкообразование происходит не по проточкам).

### Библиографический список

1. Балаганский, И. А. Действие средств поражения и боеприпасов : учебник / И. А. Балаганский, Л. А. Мерзневский. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.
2. Велихов, Е. П. Космическое оружие: дилемма безопасности / Е. П. Велихов, А. Г. Арбатов, А. А. Васильев. – Москва : Мир, 1986. – 182 с.
3. Ganzienko, O. 15 профессий для летающих дронов / O. Ganzienko. – URL: <https://geektimes.ru/company/robhunter/blog/251636/> (дата обращения: 27.04.2019).
4. Солодов, А. В. Физические механизмы повреждения интегральных микросхем в электромагнитных полях импульсного радиоизлучения : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Солодов А. В. – Москва, 2011. – 11 с.
5. Адамов, А. П. Анализ эксплуатации мультикоптеров с позиции надежности и безопасности / А. П. Адамов, А. А. Адамова, Н. В. Герасимов // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-13.
6. Матвейчук, В. В. Взрывное дело (Внимание, взрыв) : учеб.-практ. пособие / В. В. Матвейчук. – Москва : Академический Проект, 2005. – 512 с.
7. Физика взрыва : в 2 т. / под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, исправ. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – Т. 2. – 656 с.
8. Рябов, К. О борьбе с беспилотными летательными аппаратами / К. Рябов. – URL: <https://topwar.ru/98134-o-borbe-s-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami.html> (дата обращения: 27.04.2019).
9. Государственная регистрация и государственный учет воздушных судов : Воздушный кодекс РФ № 60-ФЗ от 19 марта 1997 г. – Ст. 33.
10. Самутина, А. В. Рынок дронов: состояние и перспективы / А. В. Самутина // Синергия наук. – 2016. – № 6. – С. 111–121.
11. Сахаров, А. Д. Взрывомагнитные генераторы / А. Д. Сахаров // Успехи физических наук. – 1966. – № 4.
12. Фомичев, К. И. Электромагнитное оружие. Перспективы применения в информационной борьбе / К. И. Фомичев, Л. М. Юдин // Электроника: наука, технология, бизнес. – 1999. – № 6. – URL: <https://electronics.ru>
13. Хлуновская, Е. А. Специфичность влияния сверхвысокочастотного импульсно-модулированного электромагнитного поля на вызванные потенциалы зрительной, слуховой и соматоторной коры мозга кошки при стимуляции светом и звуком / Е. А. Хлуновская, Л. Ф. Слепченко // Биофизика. – 1995. – Т. 40, вып. 2.
14. Концепция создания нового артиллерийского комплекса на базе легкой 57-мм автоматической пушки // Журнал ОТ. – 2006. – № 3/4. – URL: <https://kanchukov-sa.livejournal.com>
15. Патент России RU 2700206C1 Способ двухфакторного функционального подавления беспилотного летательного аппарата / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, Е. А. Кузина. – Заявл. 13.09.2019 ; зарег. 13.09.2019, Бюл. № 26.
16. Патент России RU 2700207C1 Способ функционального подавления беспилотного летательного аппарата / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, Е. А. Кузина. – Заявл. 13.09.2019 ; зарег. 13.09.2019, Бюл. № 26.

### References

1. Balaganskiy I. A., Merzhnevskiy L. A. *Deystvie sredstv porazheniya i boepripasov: uchebnik* [Action of weapons of destruction and ammunition: textbook]. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004, 408 p. [In Russian]
2. Velikhov E. P., Arbatov A. G., Vasil'ev A. A. *Kosmicheskoe oruzhie: dilemma bezopasnosti* [Space weapons: the security dilemma]. Moscow: Mir, 1986, 182 p. [In Russian]
3. Ganzienko O. *15 professiy dlya letayushchikh dronov* [15 professions for flying drones]. Available at: <https://geektimes.ru/company/robhunter/blog/251636/> (accessed 27.04.2019). [In Russian]
4. Solodov A. V. *Fizicheskie mekhanizmy povrezhdeniya integral'nykh mikroskhem v elektromagnitnykh polyakh impul'snogo radioizlucheniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Physical mechanisms of damage to integrated circuits in electromagnetic fields of pulsed radio emission: abstract. ... candidate of technical sciences]. Moscow, 2011, 11 p. [In Russian]
5. Adamov A. P., Adamova A. A., Gerasimov N. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 3 (19). DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-13. [In Russian]
6. Matveychuk V. V. *Vzryvnoe delo (Vnimanie, vzryv): ucheb.-prakt. posobie* [Explosive business (Attention, explosion): an educational and practical guide]. Moscow: Akademicheskii Proekt, 2005, 512 p. [In Russian]
7. *Fizika vzryva: v 2 t.* [Explosion Physics : in 2 vol.]. Ed. by L. P. Orlenko. 3rd ed. rev. Moscow: FIZMATLIT, 2004, vol. 2, 656 p. [In Russian]

8. Ryabov K. *O bor'be s bespilotnymi letatel'nymi apparatami* [On the fight against unmanned aerial vehicles]. Available at: <https://topwar.ru/98134-o-borbe-s-bespilotnymi-letatel'nymi-apparatami.html> (accessed 27.04.2019). [In Russian]
9. *Gosudarstvennaya registratsiya i gosudarstvennyy uchet vozдушnykh sudov: Vozдушnyy kodeks RF № 60-FZ ot 19 marta 1997 g. St. 33.* [State Registration and State Registration of Aircraft : Air Code of the Russian Federation No. 60-FZ dated March 19, 1997. – Article 33]. [In Russian]
10. Samutina A. V. *Sinergiya nauk* [Synergy of sciences]. 2016, no. 6, pp. 111–121. [In Russian]
11. Sakharov A. D. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in the physical sciences]. 1966, no. 4. [In Russian]
12. Fomichev K. I., Yudin L. M. *Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, technology, business]. 1999, no. 6. Available at: <https://electronics.ru> [In Russian]
13. Khlunovskaya E. A., Slepchenko L. F. *Biofizika* [Biophysics]. 1995, vol. 40, iss. 2. [In Russian]
14. *Zhurnal OT* [The journal of OT]. 2006, no. 3/4. Available at: <https://kanchukov-sa.livejournal.com> [In Russian]
15. *Patent Rossii RU 2700206C1 Sposob dvukhfaktornogo funktsional'nogo podavleniya bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Russian patent RU 2700206C1 Method of two-factor functional suppression of an unmanned aerial vehicle]. N. K. Yurkov, N. V. Goryachev, E. A. Kuzina. Appl. 13.09.2019; reg. 13.09.2019, Bull. no. 26. [In Russian]
16. *Patent Rossii RU 2700207C1 Sposob funktsional'nogo podavleniya bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Russian patent RU 2700207C1 Method of functional suppression of an unmanned aerial vehicle]. N. K. Yurkov, N. V. Goryachev, E. A. Kuzina. Appl. 13.09.2019; reg. 13.09.2019, Bull. no. 26. [In Russian]

**Мельничук Антон Иванович**

инженер группы обслуживания и ремонта  
бортовой контрольно-записывающей аппаратуры,  
Учебная авиационная база  
Краснодарского высшего военного  
авиационного училища летчиков МО РФ  
(Россия, Саратовская область,  
г. Ртищево, ул. Котовского 1/1)  
E-mail: pelmenio@mail.ru

**Горячев Николай Владимирович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: ra4foc@yandex.ru

**Юрков Николай Кондратьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ,  
заведующий кафедрой конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: yurkov\_NK@mail.ru

**Mel'nichuk Anton Ivanovich**

engineer of the service and repair group  
of on-board recording equipment training,  
Aviation Base of the Krasnodar Higher Military  
Aviation School of Pilots  
of Russian Ministry of Defense  
(1/1 Kotovsky street, Rtishchevo,  
Saratov Region, Russia)

**Goryachev Nikolay Vladimirovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of radio equipment design  
and production,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Yurkov Nikolay Kondratievich**

doctor of technical sciences, professor,  
the honoured worker of science  
of the Russian Federation,  
head of sub-department of radio equipment design and  
production,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Образец цитирования:**

Мельничук, А. И. Способы и средства противодействия беспилотным летательным аппаратам / А. И. Мельничук, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 4 (32). – С. 131–138. – DOI 10.21685/2307-4205-2020-4-14.