

# ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ



- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

- ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ  
И ИЗМЕРЕНИЯ



4'2022



## Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал  
**Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79379**  
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал  
**Конструкции из композиционных материалов**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **80089**  
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал  
**Информационные технологии в проектировании и производстве**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79378**  
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал  
**Экология промышленного производства**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **80090**  
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал  
**Вопросы защиты информации**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79187**  
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);  
факс: 8 (495) 491-44-80.  
E-mail: [izdanie@ntckompas.ru](mailto:izdanie@ntckompas.ru)

# 4 (156) ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Гайворонский О. В., Кабаков В. В., Смирнов М. Р., Голенко П. М., Осипов И. А., Трехлебов А. С.* Исследование зависимости звукового давления шума от количества винтов беспилотного летательного аппарата ..... 3

*Попов И. П.* Свободные гармонические колебания без использования потенциальной энергии ..... 9

### ИЗМЕРЕНИЯ. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

*Плиплин А. А., Рассказов М. М., Родионов А. В.* Оценка зависимости показателя преломления и угла рефракции от изменчивости метеовеличин с высотой при низковисотном визировании наземной цели..... 13

*Дьячков М. Е.* Методика формирования производственного запаса как инструмент

поддержания ритмичного функционирования производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники в местах базирования ..... 19

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. РАДИОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРОНИКА

*Привалов А. Е., Хлебников С. Г.* Концептуальная модель предметной области управления робототехническими комплексами мониторинга ..... 22

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

*Марков Е. П., Щеглов Д. К.* Анализ применимости практик проектного управления в деятельности предприятий российского оборонно-промышленного комплекса..... 29

*Данякин Н. В., Зимовец В. С., Костенко В. А.* Антиадгезия к твердым загрязнениям как одно из важных свойств горюче-смазочных материалов ..... 39

**Главный редактор**

**И. А. Шеремет**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

**Заместители главного редактора**

**Ю. А. Чаплыгин**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., президент, заведующий кафедрой «Интегральная электроника и микросистемы», МИЭТ

**С. А. Матвеев**, канд. техн. наук, начальник Центра автоматических космических систем и комплексов ФГУП "ЦНИИмаш"

**Ответственный секретарь — К. В. Трыкина,**

начальник отдела научных и информационных изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

**Редакционная коллегия:**

**В. И. Борисов**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., научный руководитель — зам. генерального директора по научной работе ОАО «Концерн «Созвездие»; **Б. А. Григорьев**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, научный руководитель Центра исследований пластовых систем и технологического моделирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ», зав. кафедрой «Исследование нефтегазовых пластовых систем» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **С. Ю. Желтов**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»; **И. А. Каляев**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., директор НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ (НИИ МВС ЮФУ); **В. М. Кашин**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор — генеральный конструктор ФГУП «Конструкторское бюро машиностроения»; **Ю. Н. Контев**, д-р техн. наук, проф., председатель научно-технического совета Госкорпорации «Ростехнологии»; **В. Е. Лукашук**, канд. техн. наук, директор ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»; **Ю. И. Маевский**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор систем и средств РЭБ — зам. генерального директора по инновациям и научной работе ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии»; **Б. В. Обиосов**, д-р техн. наук, проф., действительный член РАН, генеральный директор — генеральный конструктор ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»; **В. В. Рыжаков**, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., профессор кафедры «Техническое управление качеством» Пензенского государственного технологического университета (Пенз. ГТУ); **Л. Г. Сидоренко**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, генеральный конструктор по специальной тематике ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»; **П. А. Созинов**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»; **Н. И. Турко**, д-р воен. наук, канд. техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., первый вице-президент Академии военных наук

**Учредитель** Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»

*Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе электронной, без предварительного письменного разрешения редакции не допускаются.*

УДК 623.746.-519  
DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_3  
EDN: HJXMBW

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ШУМА ОТ КОЛИЧЕСТВА ВИНТОВ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

<sup>1</sup> О. В. Гайворонский, канд. техн. наук; <sup>2</sup> В. В. Кабаков; <sup>1</sup> М. Р. Смирнов;

<sup>1</sup> П. М. Голенко; <sup>1</sup> И. А. Осипов; <sup>1</sup> А. С. Трехлебов

<sup>1</sup> Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа, Краснодарский край, Россия

<sup>2</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*Представлены теоретические и экспериментальные значения уровня звукового давления беспилотного летательного аппарата мультироторного типа в зависимости от количества и расположения винтов. Показана удовлетворительная сходимость результатов эксперимента и теоретических расчетов.*

*Ключевые слова:* акустика, уровень звукового давления, источник звука, беспилотный летательный аппарат мультироторного типа.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало неотъемлемой частью многих сфер деятельности современного человека.

По типу конструкции, принципу работы, осуществлению взлета—посадки и назначению различают 4 основных типа БПЛА [1]:

- самолетного типа;
- мультироторные;
- аэростатические;
- беспилотные конвертопланы и гибридные модели.

По данным различных источников [1–4], БПЛА мультироторного типа являются наиболее массовым и предпочитаемым типом среди других, применяемых в отраслях человеческой дея-

тельности, таких как сельское хозяйство, строительство, экология, геодезия и т. д. Массовость применения данного типа БПЛА объясняется рядом его преимуществ [5]:

- простотой конструкции;
- неприхотливостью в эксплуатации;
- не требуется оборудованная взлетно-посадочная полоса или катапульты для запуска;
- возможностью зависать над областью интереса и др.

В качестве силовых установок (двигателей) на различных БПЛА применяют: поршневые двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные (турбореактивные) и электродвигатели [6]. Поршневые двигатели и газотурбинные силовые установки применяются на БПЛА в основном среднего и дальнего радиуса действия. Для таких силовых установок характерны повышенный уровень шума и вибрация аппаратов [6].

БПЛА с силовой установкой на электротяге лишены недостатков своих конкурентов, но имеют существенные ограничения по времени полета из-за ограниченной емкости аккумуляторных батарей.

Существует большое количество задач, особенно в военной сфере, где приоритет отдается незаметности при их выполнении.

БПЛА во время полета генерируют акустические (звуковые волны), которые являются значительным демаскирующим фактором. Источниками акустических (звуковых) волн, обычно являются двигательные установки и лопасти

---

**Гайворонский Олег Витальевич**, преподаватель.

E-mail: legorus12@yandex.ru

**Кабаков Виталий Валериевич**, старший преподаватель.

E-mail: ser-kvv73@mail.ru

**Смирнов Марк Романович**, оператор.

E-mail: era\_1@mail.ru

**Голенко Пётр Михайлович**, оператор.

E-mail: era\_1@mail.ru

**Осипов Илья Андреевич**, оператор.

E-mail: era\_1@mail.ru

**Трехлебов Андрей Сергеевич**, старший оператор.

E-mail: era\_1@mail.ru

---

*Статья поступила в редакцию 5 октября 2022 г.*

© Гайворонский О. В., Кабаков В. В., Смирнов М. Р., Голенко П. М., Осипов И. А., Трехлебов А. С., 2022



воздушных винтов. Частота генерируемого звука кратна количеству и частоте вращения лопастей воздушного винта. Интенсивность звука зависит от скорости обтекания лопастей [7].

Несмотря на изначально пессимистические прогнозы в отношении использования средств акустической разведки для обнаружения малых БПЛА работы в этом направлении продолжают-ся. Так, японская компания *ALSOK* представила рабочую систему, которая обнаруживает и распознаёт "БПЛА-квадрокоптеры" по звуку, издаваемому ими при полете. Система обнаружения состоит из акустических датчиков, камер наблюдения и базы данных, в которой содержатся сведения об уникальных акустических сигнатурах наиболее распространенных БПЛА. Разработчики утверждают, что данная система может точно определить модель БПЛА и направление его движения [8].

Проблема слышимости и, как следствие, заметности связана с исследованием и установлением методов снижения шума винтомоторных силовых установок. На основании анализа результатов различных исследований [9–12] можно сформулировать основные методы по снижению акустической заметности уже эксплуатируемых аппаратов:

- увеличение числа лопастей воздушных винтов;
- уменьшение диаметра воздушного винта (при незначительном увеличении шага для сохранения постоянной тяги на взлетном режиме);
- аэроакустическая оптимизация формы лопасти и др.

В качестве подтверждения возможности снижения шума БПЛА за счет одного из рассмотренных методов, авторами [9] была выполнена оценка влияния диаметра винта на границы заметности малоразмерного летательного аппарата. Суммарное снижение шума за счет уменьшения диаметра составило примерно 1,5 дБ. Испытания проводили на самолетах МАИ-223М и F30, примерно при 2094 об/мин, на расстоянии 30 м.

В [10] авторы предлагают метод оптимального аэроакустического проектирования воздушного винта, основанный на использовании численных методов определения его интегральных аэродинамических характеристик и уровня шума в контрольной точке вблизи винта. Авторы отмечают, что изложенный способ решения многокритериальной задачи оптимизации воздушного винта позволяет минимизировать шум вблизи соосного винта при одновременном обеспечении максимального значения КПД винта на крейсерском режиме полета с учетом разнообразных ограничений.

Но источниках [9–13] слабо отражен или не рассмотрен вовсе вопрос выявления зависимости уровня звукового давления шума БПЛА от количества винтов. В связи с этим была сформирована следующая цель исследований — поиск зависимости уровня звукового давления БПЛА мультироторного типа от количества винтов при различных вариантах расположения БПЛА и средства фиксации уровня шума.

При проведении практического эксперимента по поиску зависимости уровня звукового давления шума беспилотного летательного аппарата мультироторного типа от количества винтов применен программно-аппаратный комплекс, состоящий из шумомера *UNI-T UT353* и платы *Arduino*, декодирующей сигналы шумомера и передающей их на ПК. В качестве испытуемого летательного аппарата выбрана модель *Geoscan Pioneer* (Геоскан Пионер), которая за счет удобной открытой конструкции позволяет отключать двигатели для проведения эксперимента (рис. 1). На БПЛА установлены бесколлекторные электродвигатели серии 1306 3100 KV. Для проведения эксперимента были выбраны 3 локации: в помещении, в помещении с открытым окном и на улице.



Рис. 1. БПЛА мультироторного типа *Geoscan Pioneer* (Геоскан Пионер)

Суть эксперимента заключалась в сравнении теоретических данных с фактически полученными в ходе эксперимента результатами измерений шума винтов БПЛА. Для этого исследование было разделено на три этапа.

1. Используя известные закономерности теории акустики, была найдена теоретическая зависимость уровня звукового давления БПЛА от количества винтов.

2. Проведены эксперименты по измерению уровня звукового давления одного, двух, трех и четырех винтов БПЛА.

3. Проведен сравнительный анализ теоретических данных с результатами, полученными в ходе этапа 2.

### Определение теоретической зависимости уровня звукового давления БПЛА от количества винтов

Под звуковым (акустическим) давлением  $P$  принимается переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний. Звуковые волны возбуждают колебания частиц воздушной среды, в результате чего изменяется атмосферное давление.

Под уровнем звукового (акустического) давления принимаем логарифмическую меру эффективного давления звука по отношению к эталонному значению. Уровень звукового давления, обозначаемый  $L_p$  и измеряемый в дБ, определяем по формуле [14]:

$$\begin{aligned} L_p &= \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) Np = \\ &= 2 \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right) B = 20 \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right) d, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $p$  — среднеквадратичное звуковое давление,

$p_0$  — эталонное звуковое давление ( $p_0 = 20$  мкПа).

Звуковое давление, измеряемое в децибелах — логарифмических "единицах", не подлежат прямому сложению, то есть  $L_1 + L_2 \neq 2L_1$ . Сумма уровней звукового давления имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} L_\Sigma &= 10 \log\left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{p_0^2}\right) dB = \\ &= 10 \log_{10}\left[\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{p_2}{p_0}\right)^2 + \dots + \left(\frac{p_n}{p_0}\right)^2\right], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\left(\frac{p_i}{p_0}\right)^2 = 10 \frac{L_i}{10 dB}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

При подставлении формулу (2) подставим (3) получаем:

$$L_\Sigma = 10 \log_{10} \left[ 10 \frac{L_1}{10 dB} + 10 \frac{L_2}{10 dB} + \dots + 10 \frac{L_n}{10 dB} \right] dB, \quad (4)$$

если  $L_i$  равны, то общий уровень в дБ представляет собой уровень одного источника звука плюс повышение уровня в дБ

$$L_\Sigma = 10 \log_{10}(n) + L_1, \quad (5)$$

где  $n$  — количество одинаковых источников шума.

Для определения теоретических данных необходимо произвести замер уровня звукового давления одного источника шума на расстоянии одного метра. Источником шума является двигатель "1306 3100 KV" и винт "воздушный 5030", которые поставляются в многофункциональной учебно-методическом комплексе Geoscan Pioneer (Геоскан Пионер).

Проведен расчет уровня звукового давления шума винтов в помещении. Измеренное значение шума 1 винта составило 82,909 дБ. Подставим значения в (5), где  $L_1$  будет равняться 82,909, а  $n$  количеству источников шума.

Расчетное значение шума от 2 винтов в помещении:

$$L_2 = 10 \log_{10}(2) + 82,909 = 85,919 \text{ дБ}. \quad (6)$$

Расчетное значение шума от 3 винтов в помещении:

$$L_3 = 10 \log_{10}(3) + 82,909 = 87,679 \text{ дБ}. \quad (7)$$

Расчетное значение шума от 4 винтов в помещении:

$$L_4 = 10 \log_{10}(4) + 82,909 = 88,929 \text{ дБ}. \quad (8)$$

### Экспериментальные исследования по измерению уровня звукового давления одного, двух, трех и четырех винтов БПЛА

Для проведения эксперимента шумомер (измерительный прибор) расположили на фиксированном расстоянии 1 м от квадрокоптера Geoscan Pioneer. Выставили максимальную тягу на пульте, затем провели замеры с использованием автоматизированной системы фиксирования показаний шумомера. Пример расположения одного шумомера и мультиторного БПЛА представлен на рис. 2. В целях повышения достоверности результата эксперимента фиксация значения акустического шума БПЛА осуществлялась по среднему значению всех десяти полетов продолжительностью каждого одна минута.



*Рис. 2. Измерение звукового давления шума мультироторного БПЛА*

В ходе проведения измерений в трех различных локациях были получены результаты уровня звукового давления одного винта. Для определения расчетных данных подставим результаты в (5) и занесем теоретические данные зависимости уров-

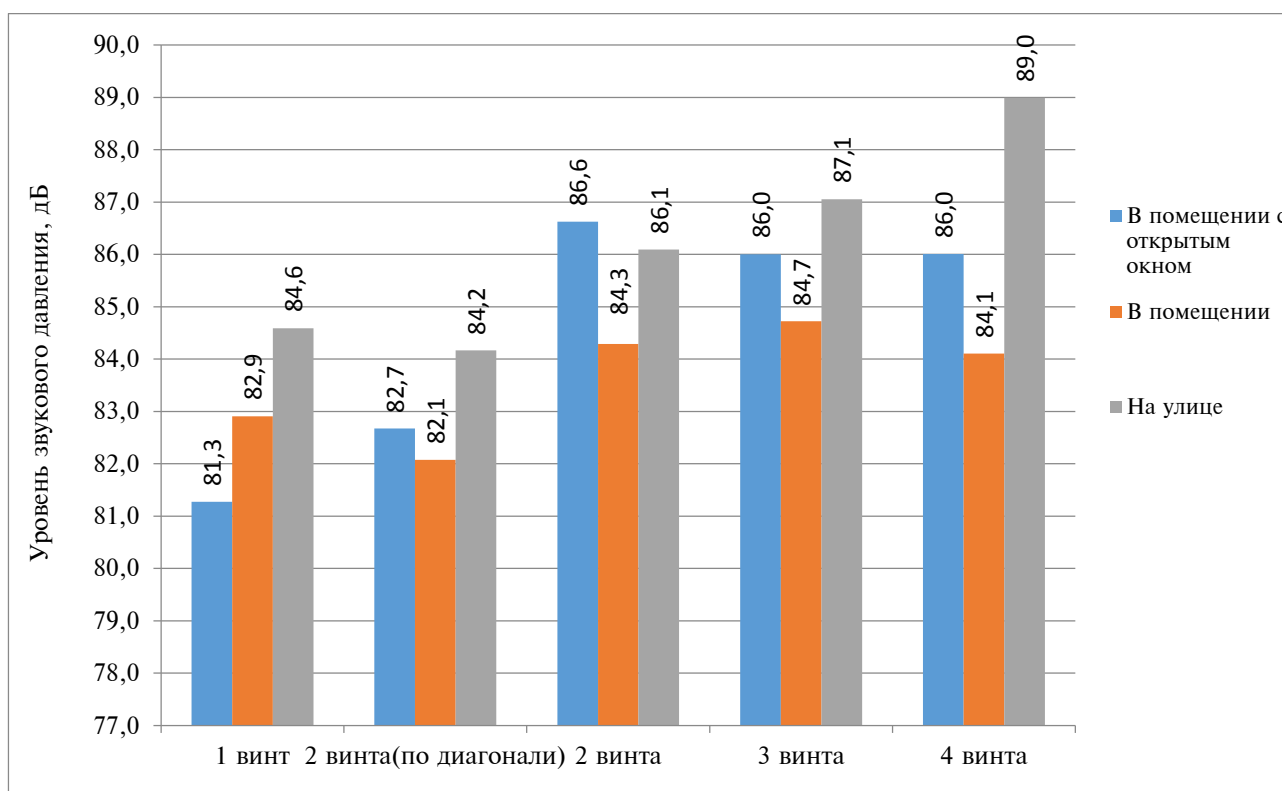
ня звукового давления от количества источников в таблицу 1, где  $L_p$  — уровень звукового давления,  $N$  — количество винтов (источников шума).

Результаты измерений уровня звукового давления приведены на рис. 3.

Таблица 1

Расчетные значения уровня звукового давления шума

$N$	$L_p$ (в помещении), дБ	$L_p$ (в помещении с открытым окном), дБ	$L_p$ (на улице), дБ
1	82,909	81,27	84,59
2	85,919	84,28	87,60
3	87,679	86,04	89,36
4	88,929	87,29	90,61



*Рис. 3. Результаты эксперимента в трех локациях*



Проведем сравнение измеренного значения  $L_p$  с расчетным значением  $L_{p\text{расч}}$ . Определим погрешность измерения звукового давления теоретическим методом по формуле [15]

$$\sigma = \frac{L_{\text{изм}} - L_{\text{расч}}}{L_{\text{изм}}} 100 \%. \quad (9)$$

Подставим значения в (9). Результаты расчета относительной ошибки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Относительные ошибки измерений

Количество винтов	В помещении, %	В помещении с открытым окном, %	На улице, %
2	-4,69	-1,94	-4,08
2 (по диагонали)	-1,93	2,70	-1,75
3	-3,49	-0,04	-2,65
4	-5,74	-1,49	-1,82

Учитывая погрешность прибора измерения в 1,5 %, можно сделать выводы, что, в ходе измерений в помещении с открытым окном относительная ошибка не превысила 2 % (исключая измерения 2 винтов по диагонали), преимущественно погрешность остается в пределах погрешности прибора измерения. Отклонение бо-

лее 5 % от расчетных данных обусловлено рядом факторов: высокая погрешность измерительного прибора (1,5 %), несовершенство метода измерений из-за наличия случайных изменений условий измерений (посторонние источники шума на улице, уровень заряда АКБ и т. д.). Теоретические формулы описывают звуковое давление в идеальных условиях: без отражения от стен, поглощения шума иными предметами на локации и помех от других источников шума.

## Заключение

Представленное исследование показало удовлетворительную сходимость расчетных значений звукового давления шума от количества винтов беспилотного летательного аппарата и результатов, полученных в ходе эксперимента. Недостатком теоретического описания является описание звукового давления в идеальных условиях, не учитывающих ряд факторов, характерных для непосредственного применения БПЛА в различных условиях. Проведенная экспериментальная оценка показала, что в зависимости от характера внешних условий уровень звукового давления для БПЛА одного и того же типа может изменяться от 2 до 5 дБ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный портал документации на БПЛА компании пионер. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/classification/classification.html#id7> (дата обращения 19.05.22).
2. Москаева Е. В. Определение рисков и возможностей мультикоптера путем комплексной оценки показателей качества // II Всерос. науч.-техн. конф. «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении»: сб. докл. II Всерос. науч.-техн. конф., Тула, 08–09 октября 2020 г. — Тула: Тульский государственный университет, 2020. — С. 351–353.
3. Технологические тренды БПЛА. [Электронный ресурс] URL: <https://investmoscow.ru/media/3341139/дроны-и-беспилотные-летательные-аппараты.pdf> (дата обращения 28.06.22).
4. Лю Б., Лозовский И. В., Марьин С. Б. Беспилотный летательный аппарат вертикального взлёта и посадки // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 1(57). С. 4–6. DOI 10.17084/20764359-2022-57-4.
5. Москаева Е. В., Дмитриев А. Я. Качество беспилотного летательного аппарата мультироторного типа // Вестник Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 598–602.
6. Безруков С. И., Гумелев В. Ю., Пархоменко А. В., Филиппов Д. А. Классификация беспилотных летательных аппаратов (в контексте современных войн в арабском мире) // Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 4. С. 66–81.
7. Ростопчин В. В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона — проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация. 2019. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331772628\\_Udarnye\\_bespilotnye летательные\\_apparaty\\_i\\_protivovozdusnaa\\_oborona\\_-\\_problemy\\_i\\_perspektivy\\_protivostoania](https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye летательные_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoania) (Дата обращения 03.06.2022).
8. Макаренко С. И. Противостояние беспилотным летательным аппаратам. — СПб.: Изд-во «Научное-технологическое», 2020. — 204 с.
9. Мошков П. А., Самохин В. Ф. Основные методы снижения шума и заметности беспилотных летательных аппаратов с поршневыми двигателями // Мат. XXVIII науч.-техн. конф. по аэродинамике. п. Володарского, 20–21 апреля 2017 года / Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского. — п. Володарского: Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н. Е. Жуковского, 2017. — 179 с.

10. **Зленко Н. А., Кедров А. В., Кишалов А. Н.** Оптимальное аэроакустическое проектирование воздушно-го винта // Ученые записки ЦАГИ. 2011. Т. 42. № 6. С. 92—103.
11. **Drobietz R., Neuwerth G.** Noise reduction potential of swept propeller blades // Proceedings of CEAS Forum on Aeroacoustics of rotors and propellers. 1999. Rome. Italy. P. 65—77.
12. **Мошков П. А., Самохин В. Ф.** Методы снижения шума и заметности беспилотных летательных аппаратов с винтомоторной силовой установкой // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 1. С. 38—48.
13. **Мошков П. А.** О направленности акустического излучения винтомоторных силовых установок // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2017. Т. 21. № 1(75). С. 118—127.
14. **Сердюк В. С., Байдукова В. К., Утюганова В. В., Колпакова Т. В.** Исследование уровней шума при специальной оценке труда: методические указания к лабораторным работам. — Омск: ОмГТУ, 2015. — 30 с.
15. **Кустова Н. Р.** Экспериментальная проверка правила суммирования уровней звукового давления // Транспорт: наука, образование, производство ("Транспорт-2019") : тр. междунар. науч.-практ. конф. : секция «Теоретические и практические вопросы транспорта», Воронеж, 23 января 2019 г. — Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2019. С. 68—71.

## **STUDIES OF THE DEPENDENCE OF THE SOUND PRESSURE OF NOISE ON THE NUMBER OF PROPELLERS OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE**

<sup>1</sup> O. V. Gaivoronsky, <sup>2</sup> V. V. Kabakov, <sup>1</sup> M. R. Smirnov, <sup>1</sup> P. M. Golenko,

<sup>1</sup> I. A. Osipov, <sup>1</sup> A. S. Trehlebov

<sup>1</sup> Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Krasnodar Territory, Russia

<sup>2</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

*The article presents theoretical and experimental values of the sound pressure level of a multirotor-type unmanned aerial vehicle, depending on the number and location of propellers. Satisfactory convergence of experimental results and theoretical calculations is shown.*

**Keywords:** acoustics, sound pressure level, sound source, multi-rotor unmanned aerial vehicle.

**Bibliography** — 15 references.

*Received October 5, 2022*

УДК 534.014

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_9

EDN: HOJDKP

## СВОБОДНЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

И. П. Попов

Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

*Представлена модель осциллятора, в котором свободные синусоидальные колебания сопровождаются трансформацией кинетической энергии инертного элемента в кинетическую же энергию другого инертного элемента. Элементы с другим характером реактивности в таком осцилляторе отсутствуют. Такой осциллятор по существу является монореактивным, а именно:  $m$ - $m$ . Актуальность работы обусловлена тем, что механические гармонические колебания широко распространены в разнообразных технологических процессах.*

*Ключевые слова:* маятник, колебания, энергообмен, монореактивный, фаза, перемещение, скорость, ускорение.

В классических осцилляторах свободные синусоидальные колебания сопровождаются обменом энергии между его элементами, имеющими противоположный характер реактивности [1–3].

В пружинном маятнике груз обменивается энергией с пружиной.

В электрическом колебательном контуре катушка индуктивности обменивается энергией с конденсатором.

Известны колебательные системы, в которых груз или пружина обмениваются энергией с катушкой индуктивности или конденсатором [4–6].

Все указанные колебательные системы по существу являются бореактивными, а именно:  $m$ - $k$ ,  $L$ - $C$ ,  $m$ - $L$ ,  $m$ - $C$ ,  $k$ - $L$ ,  $k$ - $C$ .

Свободные синусоидальные колебания могут возникать при взаимной трансформации каких угодно физических видов энергии [7–9].

Это обстоятельство является побудительным мотивом создания осциллятора, в котором свободные синусоидальные колебания сопровождаются трансформацией кинетической энергии инертного элемента в кинетическую же энергию другого инертного элемента. Элементы с другим характером реактивности в таком осцилляторе отсутствуют.

Такой осциллятор по существу является монореактивным, а именно:  $m$ - $m$ .

Актуальность работы обусловлена тем, что механические колебания широко распространены в разнообразных технологических процессах [10].

### Моделирование монореактивного гармонического осциллятора

Синтез осциллятора производится на основе трех предпосылок.

*Первое.* Осциллятор состоит из двух одинаковых по массе грузов.

*Второе.* Грузы совершают синусоидальные перемещения

$$x_1 = A \sin(\zeta + \zeta_1),$$

$$x_2 = A \sin(\zeta + \zeta_2).$$

Здесь  $x_1, x_2$  — перемещения инертных элементов,  $A$  — амплитуда,  $\zeta$  — изменяющаяся фаза колебаний,  $\zeta_1, \zeta_2$  — начальные фазы колебаний.

*Третье.* Суммарная энергия осциллятора со временем не изменяется

$$W_1 + W_2 = \text{const}.$$

Из второй и третьей предпосылок следует

$$\frac{m}{2} \left( \frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \frac{m}{2} \left( \frac{dx_2}{dt} \right)^2 = \text{const},$$

$$\cos^2(\zeta + \zeta_1) + \cos^2(\zeta + \zeta_2) = \text{const}.$$

**Попов Игорь Павлович**, старший преподаватель кафедры "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты".  
E-mail: ip.porow@yandex.ru

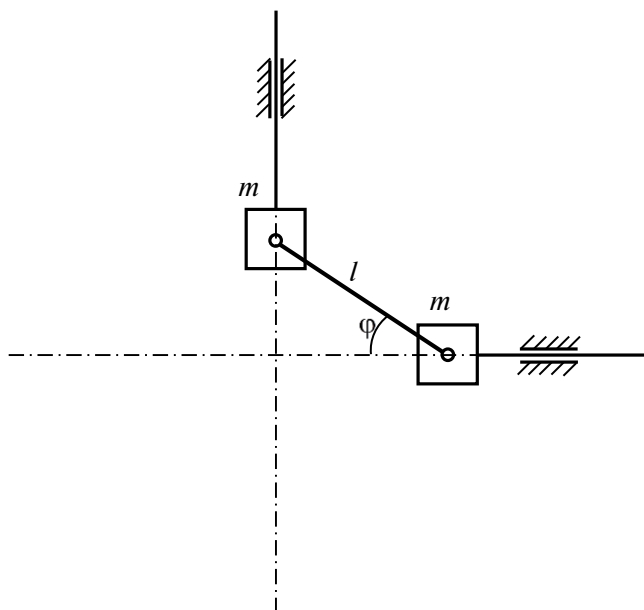
Статья поступила в редакцию 2 октября 2022 г.

© Попов И. П., 2022

Из второго выражения следует, что

$$\zeta_1 - \zeta_2 = \pm \frac{\pi}{2}.$$

Эта формула дает возможность определить конфигурацию монореактивного гармонического осциллятора. Конфигурация осциллятора представлена на рисунке.



Монореактивный гармонический осциллятор

**Допущения.** К инертным элементам внешние силы не приложены. Масса соединительного элемента равна нулю. Потери на трение отсутствуют.

### Анализ осциллятора

Перемещения инертных элементов (см. рисунок) имеют вид:

$$x_1 = l \cos \varphi, \quad (1)$$

$$x_2 = l \cos \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right). \quad (2)$$

Текущая фаза  $\varphi$  наилучшим образом подходит на роль обобщенной координаты.

Рассматриваемая механическая система обладает одной степенью свободы, соответственно, поэтому уравнение Лагранжа второго рода принимает следующую форму:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q.$$

Так как активные силы равны нулю, то обобщенная сила тоже равна нулю

$$Q = 0.$$

Суммарная кинетическая энергия системы равна

$$\begin{aligned} T &= \frac{m}{2} \left( \frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \frac{m}{2} \left( \frac{dx_2}{dt} \right)^2 = \\ &= \frac{ml^2}{2} \sin^2 \varphi \dot{\varphi}^2 + \frac{ml^2}{2} \cos^2 \varphi \dot{\varphi}^2 = \frac{ml^2}{2} \dot{\varphi}^2. \end{aligned}$$

Отсюда следует

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = ml^2 \dot{\varphi},$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = ml^2 \ddot{\varphi} = 0.$$

Это дифференциальное уравнение имеет элементарное решение

$$\frac{d\varphi}{dt} = C_1,$$

$$\varphi = C_1 t + C_2.$$

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  находим с учетом начальных условий

$$\varphi(0) = \varphi_0,$$

$$\frac{d\varphi}{dt}(0) = \omega_0; \quad (3)$$

отсюда следует, что

$$C_1 = \omega_0,$$

$$C_2 = \varphi_0.$$

С учетом установленных величин перемещения инертных элементов (1) и (2) приобретают вид:

$$x_1 = l \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4)$$

$$x_2 = l \cos \left( \frac{\pi}{2} - \omega_0 t - \varphi_0 \right). \quad (5)$$

Если исходное положение первого инертного элемента равно

$$x_1(0) = x_{10},$$

то

$$\cos \varphi_0 = \frac{x_{10}}{l},$$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{x_{10}}{l} = \arcsin \frac{x_{20}}{l}.$$

Если исходная скорость второго инертного элемента равна

$$\frac{dx_2}{dt}(0) = v_{20},$$

то

$$l\omega_0 \cos(\omega_0 0 + \varphi_0) = v_{20},$$

$$\omega_0 = \frac{v_{20}}{x_{10}} = -\frac{v_{10}}{x_{20}}. \quad (6)$$

С учетом полученных выражений перемещения инертных элементов и их скорости можно записать в виде:

$$x_1 = l \cos\left(\frac{v_{20}}{x_{10}} t + \arccos \frac{x_{10}}{l}\right), \quad (7)$$

$$x_2 = l \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{v_{10}}{x_{20}} t - \arcsin \frac{x_{20}}{l}\right), \quad (8)$$

$$v_1 = l \frac{v_{10}}{x_{20}} \sin\left(-\frac{v_{10}}{x_{20}} t + \arcsin \frac{x_{10}}{l}\right),$$

$$v_2 = l \frac{v_{20}}{x_{10}} \cos\left(\frac{v_{20}}{x_{10}} t - \arccos \frac{x_{20}}{l}\right).$$

### Заключение

В монореактивном ( $m-m$ ) гармоническом осцилляторе инертные элементы могут совершать свободные синусоидальные колебания, которые сопровождаются трансформацией кинетической энергии инертного элемента в кинетическую же энергию другого инертного элемента.

В положении, при котором  $\varphi = 0$ , энергия первого инертного элемента равна нулю. При этом энергия второго элемента имеет максимальное значение. В следующий момент времени первый элемент приобретает ускорение за счет кинетической энергии второго элемента, скорость которого начинает уменьшаться.

В соответствии с выражениями (3)–(8) в монореактивном ( $m-m$ ) гармоническом осцилляторе могут возникать свободные гармонические колебания любой заданной частоты, которая определяется исключительно начальными условиями.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И. П. Резонансы и антирезонансы в механических системах // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2021. № 2(150). С. 14–22.
2. Попов И. П. Реактансы и сассептансы механических систем // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 70. С. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6
3. Попов И. П. Антирезонанс — резонанс скоростей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 6. С. 362–366. <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>
4. Попов И. П. Инертно-индуктивный осциллятор // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. 2013. № 2(29). С. 80–81.
5. Попов И. П., Парышев Д. Н., Ильяков А. В. и др. Спонтанные емкостно-инертные колебания в системах железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. 2019. № 2(61). С. 45–48. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-2-45-48
6. Попов И. П. Спонтанные упруго-емкостные колебания в системах автоматики // Вестник Морского государственного университета им. адмирала Г. И. Невельского. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. 2017. Вып. 78. С. 93–97.
7. Попов И. П. Инерционная, диссипативная и другие виды механической мощности // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2022. № 1(153). С. 27–31. DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_27
8. Попов И. П. Условно-ортогональные механические мощности // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 4(144). С. 15–17.



9. Попов И. П. Электромагнитный маятник для ориентирования орбитальных объектов // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 2(142). С. 15—17.

10. Попов И. П. Применение символического (комплексного) метода для исследования околорезонансных явлений // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 4. С. 145—153.

## **FREE HARMONIC OSCILLATIONS WITHOUT USE OF POTENTIAL ENERGY**

*I. P. Popov*

Kurgan State University, Kurgan, Russia

*An oscillator model is presented in which free sinusoidal oscillations are accompanied by the transformation of the kinetic energy of an inert element into the kinetic energy of another inert element. Elements with a different nature of reactivity are absent in such an oscillator. Such an oscillator is essentially monoreactive, namely: m-m. The relevance of the work is due to the fact that mechanical harmonic oscillations are widespread in a variety of technological processes.*

*Keywords:* pendulum, oscillations, energy exchange, monoreactive, phase, movement, speed, acceleration.

*Bibliography* — 10 references.

*Received October 2, 2022*

УДК 551.510.52:62

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_13

EDN: HYAREL

## **ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И УГЛА РЕФРАКЦИИ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕТЕОВЕЛИЧИН С ВЫСОТОЙ ПРИ НИЗКОВЫСОТНОМ ВИЗИРОВАНИИ НАЗЕМНОЙ ЦЕЛИ**

*А. А. Плиплин*, канд. техн. наук; *М. М. Рассказов*

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

*А. В. Родионов*, канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*Проведен анализ влияния изменчивости метеовеличин с высотой на угол визирования наземной цели.*

*Ключевые слова:* прицеливание, рефракция, метеовеличины, показатель преломления, электромагнитная волна, оптическое излучение, обзорно-прицельная система.

Одной из важных задач при боевом применении авиационного боевого комплекса является задача прицеливания. Точность прицеливания зависит от множества факторов, некоторые из них не учитываются в алгоритмическом обеспечении задачи прицеливания, что в свою очередь, приводит к снижению точности применения авиационных средств поражения. Прицеливание представляет собой сложно протекающий во времени процесс, на который оказывает влияние большое количество разнообразных факторов.

Различные факторы влияют на процесс прицеливания неодинаково. Одни факторы являются главными (основными), определяющими закономерное течение данного процесса, другие — влияют в значительно меньшей степени и приводят к сравнительно небольшим отклонениям, существенно не изменяющим общего закономерного течения процесса.

Влияние второстепенных неучтенных факторов при повторных решениях задачи прицеливания проявляется по-разному. В связи, с чем

процессу прицеливания всегда сопутствуют случайные отклонения, являющиеся результатом проявления неучтенных при решении задачи прицеливания второстепенных факторов. В результате этого средство поражения (например, при стрельбе из авиационной пушки или пуске неуправляемых авиационных ракет) не попадает точно в цель (намеченную точку), а отклоняется от нее на некоторую величину.

При применении неуправляемых авиационных средств поражения процесс прицеливания заключается в том, чтобы совместить прицельное перекрестие с помощью пилотирования летательного аппарата, индицируемое на коллиматорном индикаторе с целью, таким образом, линия визирования соединяла три точки: глаз летчика, прицельное перекрестие и цель. Стоит отметить, что возможна такая ситуация, при которой прицельное перекрестие будет наложено на мнимое положение цели, что в свою очередь может привести к промаху и к невыполнению поставленной задачи по огневому поражению объектов противника.

Исследуем ошибки определения угла визирования при низковысотной атаке наземной цели вследствие неучета преломляющих свойств атмосферы.

Напомним, скорость распространения электромагнитных волн в атмосфере, как и в любой другой среде, определяется абсолютным показателем преломления:  $n = c_0 / c$ , где  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  м/с — скорость электромагнитных волн в вакууме. Показатель преломления атмосферного воздуха

---

**Плиплин Андрей Александрович**, доцент.

E-mail: pliplin@mail.ru

**Рассказов Михаил Михайлович**, курсант.

E-mail: samolet31@rambler.ru

**Родионов Алексей Васильевич**, доцент, профессор кафедры.

E-mail: samolet31@rambler.ru

*Статья поступила в редакцию 20 октября 2022 г.*

© Плиплин А. А., Рассказов М. М., Родионов А. В., 2022

очень близок к единице, но все же отличается от нее, в связи с чем удобнее пользоваться величиной  $(n - 1)$ , называемой индексом рефракции [1].

Рефракцией называется преломление электромагнитных волн в атмосфере под влиянием изменения плотности воздуха на разных высотах слоев воздуха.

Индекс рефракции пропорционален плотности воздуха в любой точке траектории оптического луча и определяется по формуле

$$\frac{n - 1}{n_0 - 1} = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{pT_0}{p_0T}, \quad (1)$$

где  $\rho_0, p_0, T_0, n_0$  — плотность, давление, температура, коэффициент преломления воздуха на исходном уровне.

Помимо плотности воздуха индекс рефракции зависит от длины волны электромагнитного излучения  $\lambda$

$$n - 1 = 10^{-6} \left( \frac{77,6p}{T} + \frac{0,584p}{T\lambda^2} \right). \quad (2)$$

На рис. 1 представлена структура нижней части приземного слоя атмосферы в виде плоско-слоистой среды, где можно выделить границу раздела двух соседних слоев с различными значениями показателя преломления.

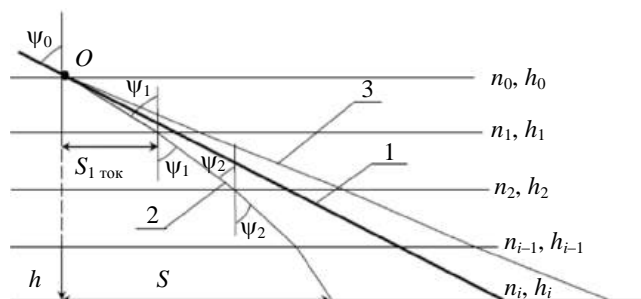


Рис. 1. Структура нижней части приземного слоя атмосферы

Вертикальный профиль показателя преломления  $n_0, n_i$  определяется гидрометеорологическими величинами на соответствующих уровнях. Прохождение оптического сигнала с уровня  $n_0$  до уровня преломления с  $n_i$  по наклонной трассе в общем случае может быть охарактеризовано горизонтальной проекцией траектории  $S$ . Поведение траектории зондирующего оптического сигнала определяется вертикальным профилем показателя преломления и в случае  $n_0 = n_i$ ,  $n_0 < n_i$ ,  $n_0 > n_i$  траектория имеет вид соответствующих кривых 1, 2, 3.

В работе [2] при исследовании показателя преломления атмосферы было определено, что

для видимого и инфракрасного спектра оптического излучения индексы рефракции мало отличаются, а для ультрафиолетовой области индекс рефракции существенно увеличивается. Была определена и высокая зависимость показателя преломления от угла визирования объекта при изменчивости температуры воздуха на исследуемых высотных уровнях, что соответствует исследованиям, проведенным в работах [3, 4], также было отмечено, что при увеличении угла визирования цели явление рефракции атмосферы сводится к нулю. Таким образом, явление преломляющих свойств атмосферы необходимо учитывать при низковысотной атаке наземной цели.

Важным толчком для дальнейших исследований послужило то, что в приведенных работах недостаточно уделено внимания на зависимость показателя преломления от изменчивости давления и влажности воздуха на исследуемых уровнях.

Отметим, что на практике необходимо иметь данные о распределении давления в слоях атмосферы, то есть зависимость давления от высоты  $p = p(z)$ . При решении метеорологических задач давление атмосферного воздуха на исследуемом уровне находят по формуле

$$p = p_0 \exp \left( - \frac{gz}{R_c \bar{T}} \right), \quad (3)$$

где  $p_0$  — давление воздуха на исходном уровне;

$g = 9,81$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$R_c = 287$  — универсальная газовая постоянная;

$\bar{T}$  — средняя барометрическая температура, К,  $\bar{T} = (T_1 + T_2) / 2$ ,  $T_1$  и  $T_2$  температура воздуха на нижней и верхней границах исследуемого слоя атмосферы;

$z$  — высота исследуемого уровня, км.

Далее рассмотрим закономерности изменчивости характеристик влажности атмосферы.

Выше приземного слоя в переносе водяного пара участвуют турбулентный обмен и вертикальные токи. Однако поток водяного пара в пограничном слое не остается постоянным по высоте, под влиянием турбулентного перемешивания должна выравниваться массовая доля водяного пара, поскольку именно она сохраняет постоянное значение при движении частиц воздуха. При объеме влажного воздуха  $s = s_0 = \text{const}$  давление водяного пара падало с высотой с такой же скоростью, как и общее атмосферное давление. Давление водяного пара, рассчитанное

по формуле (3), уже на сравнительно малых высотах оказывается больше атмосферного давления [1]. Это означает, что в тропосфере водяной пар должен конденсироваться, вследствие чего давление водяного пара убывает с высотой значительно быстрее, чем давление воздуха.

Первые формулы, описывающие распределение характеристик влажности по высоте, были получены по материалам наблюдения с помощью шаров-зондов в Альпах:

$$e = e_0 10^{-z/6,3}, \quad (4)$$

где  $z$  — высота исследуемого уровня, км;  
 $e_0$  — давление водяного пара (парциальное давление водяного пара) при  $z = 0$ .

Более точную формулу, описывающую изменчивость давления водяного пара получил известный немецкий ученый Зюринг

$$e = e_0 10^{-z/9 - z^2/120}. \quad (5)$$

Таким образом, давление водяного пара убывает быстрее по сравнению с давлением воздуха.

Далее рассмотрим закономерности влияния изменчивости метеовеличин на показатель преломления оптического излучения, проходящего через неоднородный слой атмосферы.

Численные значения показателя преломления атмосферы в конкретных условиях и по высотам найдем по известной формуле

$$n = 1 + 10^{-6} N, \quad (6)$$

$$N = \frac{77,6}{T} \left( p + \frac{4810e}{T} \right), \quad (7)$$

где  $N$  — величина атмосферного показателя преломления;

$T$  — абсолютная температура, К;

$p$  — атмосферное давление, гПа;

$e$  — парциальное давление водяного пара, гПа.

В качестве математической модели, учитывающей вертикальный профиль показателя преломления, будем использовать полученные в [3] выражения, имеющие вид:

$$S_{i\text{тек}} = \frac{n_i}{\gamma_{n_{i-1}}} \sin a_{i-1} \ln \left[ \frac{1 + k_i + \sqrt{(1 + z_i)^2 - \sin^2 a_{i-1}}}{1 + \cos a_{i-1}} \right], \quad (8)$$

$$\gamma_{n_0} = \frac{n_1 - n_0}{h_1 - h_0}, \quad (9)$$

$$k_i = (h_i - h_{i-1}) \frac{\gamma_{i-1}}{n_{i-1}}, \quad (10)$$

где  $\gamma_{n_0}$  — вертикальный градиент показателя преломления атмосферы;

$S_{i\text{тек}}$  — текущая дальность наблюдения объекта;

$\psi_{i\text{тек}}$  — текущий угол визирования объекта.

$$\psi_i = \psi_{i-1} - \arccos \left[ \frac{\sin^2 \psi_{i-1}}{1 + z_i} + \cos \psi_i \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \psi_{i-1}}{(1 + z_i)^2}} \right]. \quad (11)$$

Исследование было проведено с помощью математического моделирования в среде программирования *matlab* при следующих начальных условиях: высота визирования наземной цели составляет 250 м, проекция наклонной дальности наблюдения на земную поверхность составляет 2000 м (что составляет максимальную дальность пуска неуправляемых ракет типа С-8). Результаты исследования представлены на рис. 2 и 3, причем показатель преломления рассчитывали по формуле (7), текущий угол визирования объекта  $\psi_{i\text{тек}}$  — по формуле (11), парциальное давление водяного пара — по формуле (5) ( $e_0$  соответствует значениям, представленным в источнике [5] при заданных значениях температуры воздуха и относительной влажности на уровне  $h_0$ ), изменчивость давления воздуха — по формуле (3), шаг исследования по высоте равен  $\Delta h = 50$  м.

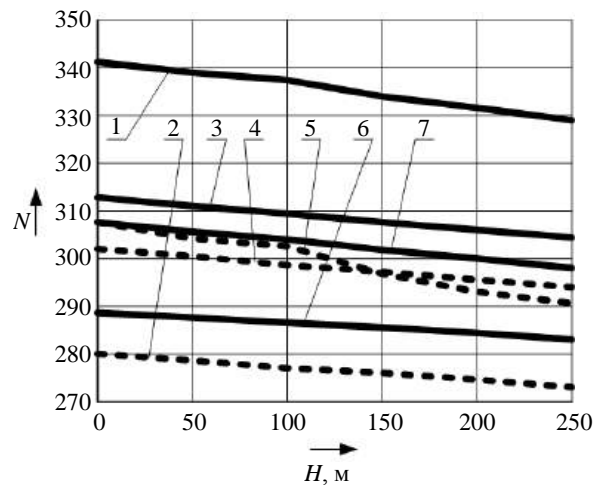


Рис. 2. Изменчивость показателя преломления атмосферы в слое воздуха 250 м

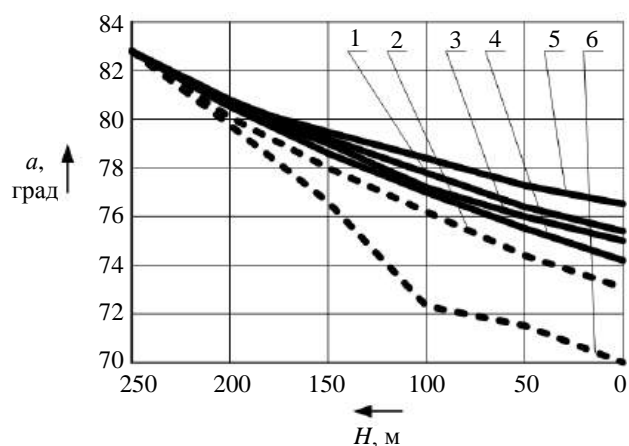


Рис. 3. Изменчивость угла рефракции атмосферы в слое воздуха 250 м

На рис. 2 отображено: 1 — значения температуры и давления на исследуемых уровнях соответствуют значениям стандартной атмосферы СА-81 при влажности 90 % на уровне  $h_0$ ; 2 — значения температуры и давления соответствуют СА-81 при влажности 10 % на уровне  $h_0$ ; 3 — давление воздуха  $p_0 = 775$  мм рт. ст., температура соответствует значениям СА-81 при влажности 45 % на уровне  $h_0$ ; 4 — давление воздуха  $p_0 = 745$  мм рт. ст., температура соответствует СА-81 при влажности 45 % на уровне  $h_0$ ; 5 — значения давления соответствуют СА-81 при влажности 45 % на уровне  $h_0$ , значения температуры соответствуют значениям температуры в 6.00 по данным метеонаблюдений (рис. 4); 6 — значения давления соответствуют СА-81 при влажности 45 %, значения температуры соответствуют значениям температуры в 14.00 по данным метеонаблюдений (рис. 4); 7 — значения температуры и давления соответствуют СА-81 при влажности 45 %.

наблюдений (рис. 4); 7 — значения температуры и давления соответствуют СА-81 при влажности 45 %.

На рис. 3 отображено: 1 — значения температуры и давления на исследуемых уровнях соответствуют значениям стандартной атмосферы СА-81 при влажности 90 % на уровне  $h_0$ ; 2 — значения температуры и давления соответствуют СА-81 при влажности 10 % на уровне  $h_0$ ; 3 — давление воздуха  $p_0 = 775$  мм рт. ст., температура соответствует значениям СА-81, при влажности 45 % на уровне  $h_0$ ; 4 — значения давления соответствуют СА-81 при влажности 45 % на уровне  $h_0$ , значения температуры соответствуют значениям температуры в 6.00 по данным метеонаблюдений (рис. 4); 5 — значения давления соответствуют СА-81 при влажности 45 % на уровне  $h_0$ , значения температуры соответствуют значениям температуры в 14.00 по данным метеонаблюдений (рис. 4); 6 — значения температуры и давления соответствуют СА-81 при влажности 45 %.

Анализ полученных данных показал существенную зависимость показателя преломления от изменчивости температуры и влажности на разных высотных уровнях, причем максимальное значение показателя преломления наблюдается при значении влажности равном 90 % на уровне  $h_0$ , также была установлена малая зависимость угла преломления от изменчивости давления воздуха (на рис. 3 представлена лишь одна зависимость угла преломления от изменчивости давления воздуха  $p_0 = 775$  мм рт. ст., так как при давлении  $p_0 = 745$  мм рт. ст. кривые практически совпадают).

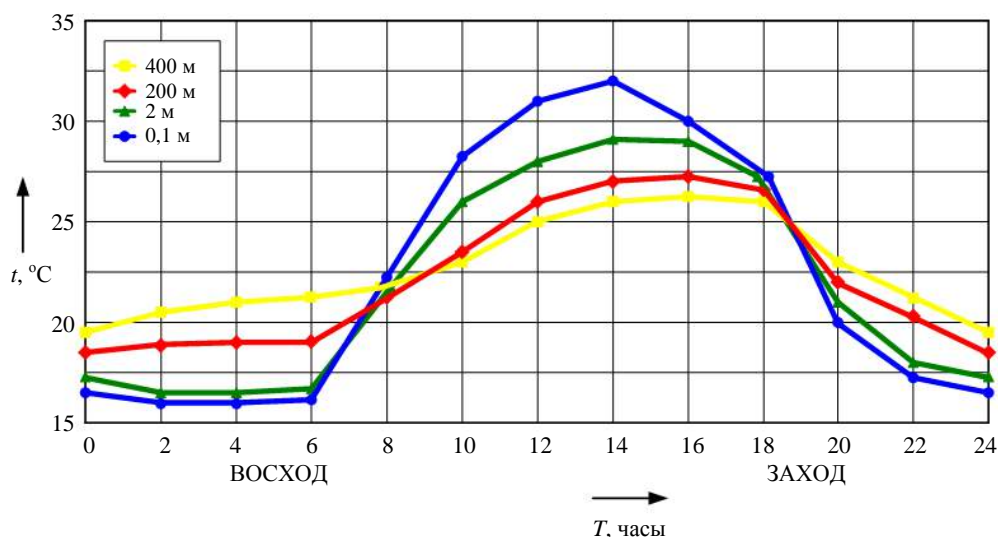


Рис. 4. Суточный ход температуры воздуха в зависимости от времени суток и высоты по данным наблюдения шести суток на метеостанции О. Нейл



Для более достоверного анализа зависимости показателя преломления от изменчивости влажности и температуры с высотой было проведено дальнейшее моделирование процесса прицеливания при следующих начальных условиях: в одном случае показатель преломления рассчитан по формуле (2) для длины волны  $\lambda = 1$  мкм (данная длина волны выбрана в целях получения более достоверного результата), во втором случае показатель преломления рассчитывался по формуле (7), причем в двух случаях температура столба воздуха соответствует показаниям в 6.00 и 14.00 суточного хода температуры воздуха (рис. 4), давление соответствует значениям стандартной атмосферы СА-81. Результаты исследований приведены на рис. 5 и 6, где 1 — показатель преломления рассчитан по формуле (2) при давлении, соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 14.00, по данным метеонаблюдений (рис. 4); 2 — показатель преломления рассчитан по формуле (2) при давлении соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 6.00 (рис. 4); 3 — показатель преломления рассчитан по формуле (7) при давлении, соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 6.00 (рис. 4) при влажности 10 % на уровне  $h_0$ ; 4 — показатель

преломления рассчитан по формуле (7) при давлении соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 6.00 (рис. 4) при влажности 90 % на уровне  $h_0$ ; 5 — показатель преломления рассчитан по формуле (7) при давлении соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 14.00 (рис. 4) при влажности 10 % на уровне  $h_0$ ; 6 — показатель преломления рассчитан по формуле (7) при давлении соответствующем СА-81, значения температуры соответствуют значениям температуры в 14.00 (рис. 4) при влажности 90 % на уровне  $h_0$ .

При анализе результатов исследования было выявлено, что значения изменчивости угла преломления при расчете показателя преломления по формулам (2) и (7) при низкой влажности воздуха практически идентичны, что позволяет сделать вывод, что формула (2) справедлива для практических расчетов при низкой влажности. Подтверждена высокая зависимость угла преломления оптического излучения от влажности воздуха и суточного хода температуры, причем разница между первоначальным углом (падения) и конечным углом (преломления) для данных условий составляет от 6 до 13°. Конечные углы преломления при высокой температуре и при низкой влажности воздуха составляют около 6°.

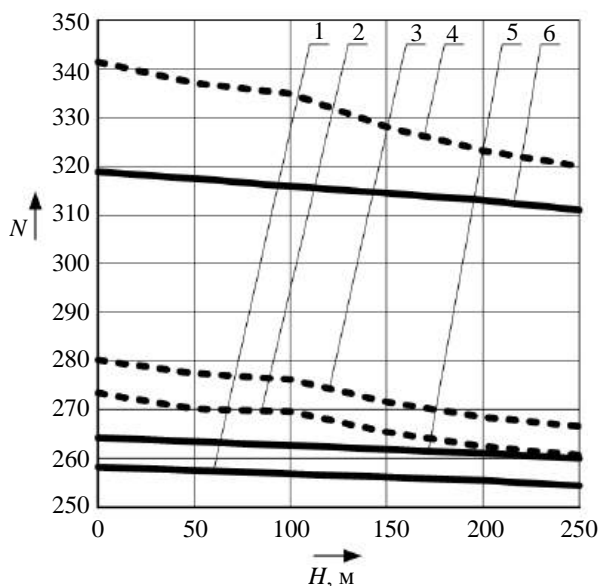


Рис. 5. Анализ изменчивости показателя преломления атмосферы в слое воздуха 250 метров

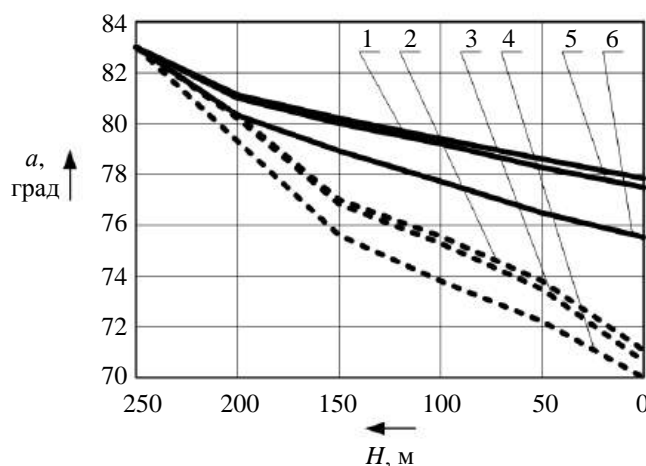


Рис. 6. Анализ изменчивости угла рефракции атмосферы в слое воздуха 250 метров

# **Вывод**

Показано, что неучет явления рефракции атмосферы приводит к искаженным результатам расчета дальности до наземной цели, а это, в свою очередь, подтверждает необходимость внесения угловых поправок в алгоритмическое обеспечение оптико-электронных систем боевых

авиационных комплексов, выполняющих низко-высотную атаку наземной цели, т. е. необходимо учитывать изменчивость показателя преломления с учетом изменчивости температуры и влажности воздуха, что в свою очередь увеличит вероятность поражения наземных целей неуправляемыми авиационными средствами поражения.

# **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Матвеев Л. Т.** Физика атмосферы: учебник. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 778 с.
2. **Одинцов С. Л., Гладких В. А., Камардин А. П. и др.** Оценки показателя преломления и регулярной рефракции оптических волн в пограничном слое атмосферы. Ч. 1. Показатель преломления // Оптика атмосферы и океана. 2017. № 10. С. 821—829.
3. **Бобров В. Н., Нахмансон Г. С.** Влияние вертикального распределения показателя преломления атмосферы на визуальное определение местоположения взлетно-посадочной полосы с борта воздушного судна // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 58—63.
4. **Бобров В. Н., Родионов А. В., Плиплин А. А., Мотенко Д. А.** Влияние термодинамических характеристик атмосферы на конечное состояние задачи управления средством поражения — цель // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 1(141). С. 29—32.
5. **Ильин Б. М., Резников Г. П.** Таблицы психрометрические. Изд. 3. — СПб.: Росгидромет, 2018. — 316 с.

## **DEPENDENCY ASSESSMENT OF REFRACTIVE INDEX AND REFRACTION ANGLE FROM THE VARIABILITY OF METEOROLOGICAL MAGNITUDES ON LOW ALTITUDE SIGHTING OF LAND TARGET**

*A. A. Pliplin, M. M. Rasskazov*

Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education Military Educational Research Centre of Air Force "Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Voronezh, Russia

*A. V. Rodionov*

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

*The analysis of carried out in the article on influence of variability of meteorological magnitudes with altitude on angle of sighting of land target.*

**Keywords:** targeting, refraction, meteorological magnitudes, refractive index, electromagnetic wave, optical radiation, overview and sighting system.

Bibliography — 5 references.

*Received October 20, 2022*

УДК 658.511

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_19

EDN: HZXYLM

## **МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАПАСА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОДДЕРЖАНИЯ РИТМИЧНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В МЕСТАХ БАЗИРОВАНИЯ**

*М. Е. Дьячков*

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр ВКО «Алмаз-Антей», Москва, Россия

*Описана методика формирования производственного запаса запасных частей и материалов, необходимых для проведения сервисного обслуживания вооружения, военной и специальной техники в местах базирования. Кратко описан производственный процесс, приведены математические формулы расчета объемов складских запасов.*

*Ключевые слова:* сервисное обслуживание, вооружение, военная и специальная техника, производственный процесс, производственный запас, оперативно-производственное планирование.

Сервисное обслуживание вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в местах базирования представляет собой производственный процесс [1], функционирующий на предприятии-исполнителе государственного оборонного заказа (ГОЗ), и является неотъемлемой частью жизненного цикла каждого изделия ВВСТ на этапе эксплуатации.

Для непрерывного и ритмичного функционирования производственного процесса необходимо применять различные инструменты управления, одним из которых является оперативно-производственное планирование (ОПП).

Ввиду того, что места базирования ВВСТ находятся удаленно от предприятия-исполнителя работ по ГОЗ, процесс ОПП имеет свои специфические особенности, не позволяющие применять известные методики и инструменты планирования, используемые на предприятиях-изготовителях продукции.

Существующие методики ОПП, применяемые на предприятиях-исполнителях работ по сервисному обслуживанию, неэффективны для поддержания ритмичности и непрерывности производственного процесса и нуждаются в совершенствовании. При этом наибольших изменений требует внутрипроизводственное плани-

рование, которое должно включать в себя механизмы мониторинга технического состояния изделий ВВСТ и формирования производственного запаса.

Рассмотрим методику формирования производственного запаса, позволяющую значительно повысить коэффициент ритмичности производственного процесса сервисного обслуживания ВВСТ в местах базирования.

### **Методика формирования производственного запаса на предприятии-исполнителе работ по сервисному обслуживанию ВВСТ в местах базирования**

В настоящее время в сфере сервисного обслуживания ВВСТ очень остро стоит вопрос оперативного устранения неисправностей силами специалистов предприятий промышленности. Ввиду длительного технологического цикла изготовления запасных частей на предприятиях ОПК и того факта, что объемы запасных частей в воинских частях на текущий момент времени использованы на 90 %, наличие производственного запаса комплектующих на предприятии-исполнителе работ по сервисному обслуживанию становится необходимостью.

Согласно Федеральному закону № 275-ФЗ от 29.12.2012 любые товарно-материальные ценности, используемые в рамках гособоронзаказа, поставляются по отдельным счетам с идентификатором государственного контракта и должны быть использованы в рамках работ по этому кон-

---

Дьячков Максим Евгеньевич, аспирант.

E-mail: ya\_max@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 23 октября 2022 г.

---

© Дьячков М. Е., 2022

тракту. С другой стороны, исполнитель госбронзаказа вправе включать в государственные контракты условия возмещения понесенных за счет собственных средств расходов на формирование запасов продукции, сырья и комплектующих [2]. Поэтому предприятие имеет право на создание производственного запаса комплектующих и материалов с целью их дальнейшего использования в рамках заключаемых государственных контрактов.

Прерывание работ по сервисному обслуживанию изделия ВВСТ ввиду необходимости закупки необходимой для восстановления запасной части или материалов для проведения технического обслуживания ведет за собой приостановку работ на длительный срок, требующийся для проведения закупки. За это время может возникнуть дополнительно ряд неисправностей на изделии ВВСТ, что впоследствии может привести к новой приостановке работ. В результате падает коэффициент ритмичности производственного процесса и возникает угроза срыва сроков выполнения ГОЗ.

Для формирования запаса запасных частей и материалов воспользуемся простой формулой

$$Z = Z_{\text{тек.}} + Z_{\text{несн.}} \quad (1)$$

где  $Z_{\text{тек.}}$  — текущий уровень запаса комплектующих и материалов, необходимый для проведения текущих работ;

$Z_{\text{несн.}}$  — неснижаемый уровень запаса комплектующих и материалов.

Среди известных методов расчета объема производственного запаса наиболее известными являются опытно-статистический метод, метод технико-экономических расчетов, экономико-математические методы [3]. Так как производственный процесс сервисного обслуживания относится к единичному типу производства и включение каждой запасной части в производственный запас носит индивидуальный характер целесообразно использовать опытно-статистический метод расчета объема производственных запасов [4].

Данный метод основан на анализе статистической отчетности о расходе запасных частей. Причем, чем детальнее проводится анализ, тем точнее представление об уровне оптимального производственного запаса. Сначала оценивается состояние запасов за прошлые периоды и далее делается прогноз на его изменение в будущем. Однако, основой метода является сбор статистических данных и тщательный анализ предметной области [3].

На основании актов выполненных работ предыдущих периодов, данных от руководителей бригад и данных, получаемых из воинских частей вычисляется расход  $i$ -й детали  $R_i$  в выборке из изделий  $j$ -й номенклатуры ( $n_j$  — число изделий в выборке). На основании полученных статистических данных вычислим норму расхода  $i$ -й детали на каждое изделие  $j$ -й номенклатуры:

$$N_i = \frac{R_i}{n_j} \quad (2)$$

Далее расчет текущего запаса запасных частей будем проводить по формуле, учитывающей объем запланированных изделий  $j$ -й номенклатуры  $V_{\text{тек.}j}$  согласно плана-графика проведения работ по сервисному обслуживанию, утвержденного в МО РФ в момент подписания государственного контракта. Учитывая вышеизложенное, получим формулу для расчета текущего запаса  $i$ -й детали:

$$Z_{\text{тек.}i} = N_i V_{\text{тек.}j} = \frac{R_i}{n_j} V_{\text{тек.}j} \quad (3)$$

Общий текущий объем запасных частей будем определять по формуле

$$Z_{\text{тек.}i} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \frac{R_i}{n_j} V_{\text{тек.}j} \quad (4)$$

При этом, согласно опытно-статистического метода формирования запаса, объем  $Z_{\text{тек.}}$  будет изменяться по результатам проводимых работ по сервисному обслуживанию и появления новых статистических данных.

Величину неснижаемого запаса устанавливают, как правило, в пределах 50 % от текущего запаса. Поэтому первичный расчёт неснижаемого (страхового) запаса запасных частей будем производить по формуле

$$Z_{\text{несн.}} = 0,5 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \frac{R_i}{n_j} V_{\text{тек.}j} \quad (5)$$

Что же касается запасов материалов, таких как масла, смазки, топливо, ветошь и т. д., которые необходимы для проведения технического обслуживания, то ввиду их ограниченного срока годности и малым технологическим циклом изготовления, формирование их запасов нецелесообразно. Однако для обеспечения самых первых работ по новому государственному контракту предприятие-исполнитель работ должно иметь минимальный первоначальный запас материалов, который необходимо формировать на этапе согласования новых контрактов. Данный первоначальный

чальный запас рассчитывается исходя из норм расхода каждого материала (расхода материала  $M_i$  в выборке из  $n_j$  изделий) для каждой  $j$ -й номенклатуры обслуживаемых изделий:

$$Z_0 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p N_{ij}^m = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \frac{M_i}{n_j}. \quad (6)$$

Таким образом, используя формулу (1) и учитывая наличие первоначального запаса материалов, вычисляемого по формуле (6), можно составить общую формулу определения объема производственного запаса:

$$Z = 1,5 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \frac{R_i}{n_j} V_{\text{тек},j} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p \frac{M_i}{n_j}. \quad (7)$$

По результатам прошедшего года производится анализ расхода производственных запасов и корректировка объемов его пополнения в следующем году в большую или меньшую сторону.

Управление производственным запасом осуществляется по принципу постоянной пополняемости неснижаемого запаса запасных частей. В случае, если запасная часть закончилась в текущем запасе и изымается из неснижаемого, то формируется заявка на пополнение склада.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьячков М. Е. Построение математической модели производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО СВ в войсковых условиях при помощи аппарата сетей Петри // Русский инженер. 2021. № 4 (73). С. 33—36.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 275-ФЗ "О государственном оборонном заказе" // СЗ РФ. 2020. № 8. С. 914.
3. Денисова А. Л., Дюженкова Н. В. Организация коммерческой деятельности: управление запасами: учеб. пособие. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. — 80 с.
4. Халекеева З. П. Эффективное управление товарно-материальными запасами акционерных обществ // Наука и образование: научный журнал. 2022. № 3 (4). С. 1862—1870.

## THE PRODUCTION STOCK CREATION TECHNIQUE USED AS A TOOL FOR RYTHMIC FUNCTIONING OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT MAINTANANCE PRODUCTION PROCESS IN THEIR LOCATIONS

M. E. Dyachkov

Independent Non-Profit Organization of Further Vocational Education

"Science and Education Center of Aerospace Defense "ALMAZ-ANTEY", Moscow, Russia

*This paper deals with the production stock creation technique used for weapons and military equipment maintenance works in their locations. The maintenance production process is briefly described. The mathematical formulas to calculate the production stock values are also given.*

**Keywords:** maintenance, armament, weapons and military equipment, production process, production stock, scheduling.

Bibliography — 4 references.

Received October 23, 2022



УДК 629.78

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_22

EDN: IGUXHV

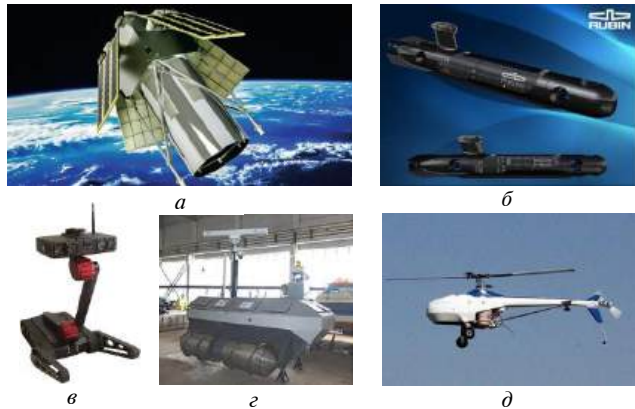
## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ МОНИТОРИНГА

А. Е. Привалов, канд. техн. наук; С. Г. Хлебников, канд. воен. наук  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

*Представлена концептуальная модель предметной области управления робототехническими комплексами мониторинга, построенная с использованием универсального языка моделирования UML и математического аппарата теории множеств. Модель описывает структуру понятий и отношений предметной области и может быть использована в качестве базиса для разработки систем управления подобных комплексов.*

**Ключевые слова:** управление, мониторинг, концептуальная модель, робототехнический комплекс, теоретико-множественный подход, UML.

Одной из задач робототехники является мониторинг объектов, процессов или явлений. Примерами задач мониторинга с применением робототехнических комплексов (РТК) могут служить (рис. 1): космический мониторинг областей на поверхности Земли, мониторинг подводных объектов и морского дна, мониторинг наземных объектов с применением мобильных РТК и беспилотных летательных аппаратов.



**Рис. 1. Робототехнические комплексы мониторинга:**  
а — космический аппарат Kestrel Eye (США) [1]; б — автономный необитаемый подводный аппарат "Амулет" [2];  
в — переносной мобильный робот "Сервосила "Инженер" [3];  
г — автономный мобильный РТК мониторинга [4];  
д — БЛА радиационной разведки "ZALA 421-06" [5]

Привалов Александр Евгеньевич, докторант.

E-mail: vka@mil.ru

Хлебников Сергей Германович, доцент, старший научный сотрудник.

E-mail: vka@mil.ru

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2022 г.

© Привалов А. Е., Хлебников С. Г., 2022

Задачи мониторинга, как правило, возникают в труднодоступных или удаленных районах, областях с повышенной опасностью и недетерминированной быстроменяющейся внешней средой. Непрерывность и необходимая оперативность мониторинга в таких условиях может быть достигнута только с применением РТК, в состав которых входит большое количество территориально распределенных роботов. При этом РТК может состоять как из одинаковых, так и из различных роботов. Кроме того, задача мониторинга может решаться с применением нескольких различных РТК (например, воздушно-го и наземного базирования).

Высокая размерность задачи управления подобными РТК, а также динамика изменения объектов наблюдения обуславливают необходимость создания системы автоматического управления РТК, которая может представлять собой программный комплекс, реализованный на вычислительных средствах пункта управления РТК либо распределенный по вычислительным средствам роботов, входящих в РТК. Однако большинство работ в этой области направлены на решение некоторой частной задачи [6], способ формализации которой зависит как от специфики самой задачи, так и от предпочтений коллектива разработчиков. Очевидно, что постановка и решение задач управления роботами в гетерогенном распределенном РТК должны быть выполнены на едином базисе, разработка которого является целью авторов данной работы.

### Постановка задачи

Концептуальная модель предметной области представляет собой систему, состоящую из перечня взаимосвязанных понятий, используемых для

описания этой области, вместе со свойствами и характеристиками, классификацией этих понятий по типам, ситуациям, признакам в данной области и законов протекания процессов в ней [7]. Исходными данными для разработки концептуальной модели выступают знания, представленные в форме определений понятий предметной области и семантических отношений между ними, выраженные на естественном языке [8].

Существует достаточно большое число способов концептуального моделирования предметных областей, к числу которых относятся семантические сети [9], онтологии [10], модели данных (ER-диаграммы) [11] и др. Наиболее универсальным является подход к концептуальному моделированию предметных областей, основанный на унифицированном языке моделирования *UML* [12]. К достоинству данного языка следует отнести его логическую строгость, универсальность, а также широкую распространенность, что позволяет автоматизировать процессы разработки программного обеспечения систем управления РТК с применением современных *CASE*-технологий. Вместе с тем, для разработки единого базиса предметной области требуется формализация концептуальной модели, наиболее эффективным инструментом для которой является теоретико-множественное представление [13] исследуемого объекта. Таким образом, необходимо осуществить формализацию структуры предметной области управления робототехническими комплексами мониторинга на концептуальном уровне с применением теоретико-множественного подхода.

### Концептуальная модель предметной области

Мониторинг представляет собой систему постоянных наблюдений, оценивания и прогнозирования изменений состояния какого-либо природного, социального и т. п. объекта [14]. Ключевым элементом мониторинга выступает объект реального мира  $O$ , информация о сос-

тоянии которого подлежит мониторингу. Его состояние изменяется в течение времени, представляющее собой непрерывное множество моментов времени  $T = \{t | t = \overline{0, \infty}\}$ . Подмножество моментов времени  $\sigma^T \subseteq T$  представляет собой интервал времени, класс которых описывается множеством  $\Sigma^T = \{\sigma^T | \sigma^T \subseteq T\}$ . Состояние объекта  $o \in O$  можно представить в форме множества (в пределе бесконечного) параметров объекта  $P^O : o = \{p^O | p^O \in P^O\}$ , значения которых характеризуют объект в каждый момент времени. Изменение состояния объекта описывается отображением  $\tau^O : T \rightarrow P^O$ . Параметр объекта принадлежит классу параметр  $P$ , каждый из которых может принимать значение, принадлежащее одному из доменов  $V$ , под которым понимается множество значений параметра. Следовательно, классы  $p$  и  $v$  связаны ассоциативной связью, которую можно описать бинарным отношением  $v = \{\langle p, v \rangle | p \in P, v \in V\}$ .

Ввиду невозможности наблюдения всего множества параметров, мониторинг, как правило, направлен на определенное подмножество параметров, характеризующих отдельный аспект объекта реального мира (например, положение в пространстве, техническое состояние и т. п.). Таким образом, объектом мониторинга  $O^M$  является совокупность параметров объекта реального мира  $P^M$ , характеризующая его отдельный аспект (сторону рассмотрения)

$$O^M = \{o^M | o^M = \{p^M | p^M \in P^M\}, P^M \subseteq P^O\}.$$

Таким образом, получаем следующую диаграмму классов описанной выше взаимосвязи между объектом РТК и объектом его мониторинга (рис. 2).

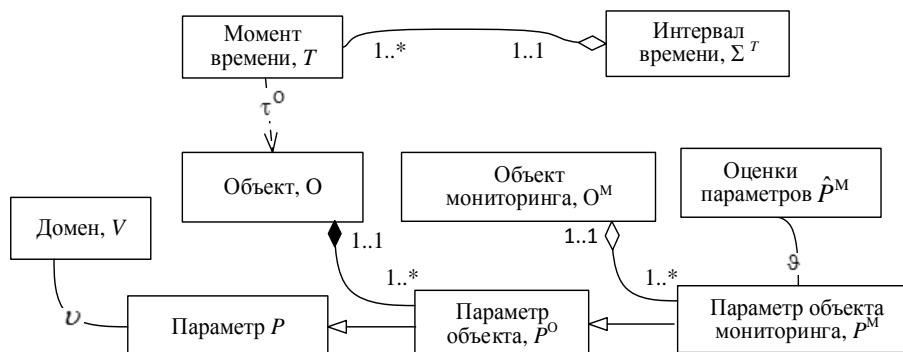


Рис. 2. UML-диаграмма взаимосвязи между объектом РТК и объектом его мониторинга

Робототехнический комплекс  $K$  — комплекс, состоящий из одного или нескольких роботов, их рабочих органов и любых механизмов, оборудования, приборов или датчиков, обеспечивающих выполнение роботом функционального назначения (задания) [15]. Основным элементом РТК является робот  $R$  — исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности, обладающий определенной степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде в целях выполнения задач по предназначению [15]. Кроме того, в состав РТК входят механизмы, оборудование, приборы или датчики  $L$ . Таким образом, класс РТК можно представить в виде  $K = \{k | k = \langle \{r | r \in R\}, \{l | l \in L\} \rangle\}$ . Робот можно в общем виде представить композицией классов входов  $X$ , выходов  $Y$ , состояний  $Z$  и управляющих воздействий  $U$ , а класс роботов — в виде

$$R = \{r | r = \langle x, y, z, u | x \in X, y \in Y, z \in Z, u \in U \rangle\}.$$

*Входным воздействием*  $X$  называется процесс изменения обстановки на входном полюсе робота [13]. Во входное воздействие включается объект  $O$  и внешняя среда  $E$ , следовательно,  $x = \langle \{o | o \in O\}, e | e \in E \rangle$ .

*Внешняя среда* представляет собой множество объектов реального мира, не входящих в РТК и не содержащих объект мониторинга, но оказывающих влияние на РТК. Внешняя среда характеризуется набором параметров, которые зависят от времени, т. е.  $P^E : e = \{p^E | p^E \in P^E\}$  и имеет место функция  $\tau^E : T \rightarrow P^E$ .

*Выходным воздействием*  $y \in Y$  называется процесс изменения обстановки на выходном полюсе робота, которое отражает его предназначение и характеризуется набором параметров  $P^Y : y = \{p^Y | p^Y \in P^Y\}$ .

*Состоянием робота*  $z \in Z$  называется совокупность параметров состояния  $P^Z : z =$

$= \{p^Z | p^Z \in P^Z\}$ , знание которых при известных входном и управляющем воздействии достаточно для однозначного определения выходного воздействия.

*Управляющим воздействием*  $u \in U$  называется целенаправленное внешнее воздействие, формируемое с целью изменения состояния  $z$  и выходного воздействия  $y$ . Управляющее воздействие характеризуется совокупностью параметров управляющего воздействия  $P^U : u = \{p^U | p^U \in P^U\}$ .

Изменение состояния  $z$  и выходного воздействия  $y$  осуществляется в соответствии с функциями переходов  $\varphi^R : X \times U \times Z \times T \rightarrow Z$  и выходов  $\psi^R : X \times U \times Z \times T \rightarrow Y$  соответственно.

На основании совокупности комбинаций выходных воздействий роботов, входящих в РТК, формируется множество оценок значений параметров объекта мониторинга  $\hat{P}^M = \{\hat{p}^M\}$ , связанное биективным отображением  $\theta$  с множеством параметров, составляющих объект мониторинга. Следовательно, имеют место отображения  $B(Y) \xrightarrow{\beta} \hat{P}^M \xrightarrow{\theta} P^M$ , где  $B(\cdot)$  — булеан множества  $(\cdot)$ .

Таким образом, получаем следующую диаграмму классов, описанных ранее, различных по своей природе воздействий на объект РТК (рис. 3).

*Цель мониторинга*  $G^M$  заключается в получении информации об объекте мониторинга (путем наблюдения, оценивания или прогнозирования состояния объекта мониторинга) за располагаемое время с применением имеющихся ресурсов. В качестве ресурсов в рамках настоящего исследования рассматривается множество РТК, которые могут быть использованы для достижения цели. Таким образом, класс целей мониторинга можно выразить множеством  $G^M = \{g^M | g^M = \langle o^M, \{\sigma^M | \sigma^M \in \Sigma^T\}, \{k^M | k^M \in K\} \rangle | o^M \in O^M \}$ . Совокупность целей мониторинга составляет целевую обстановку  $J^M = B(G^M)$ .

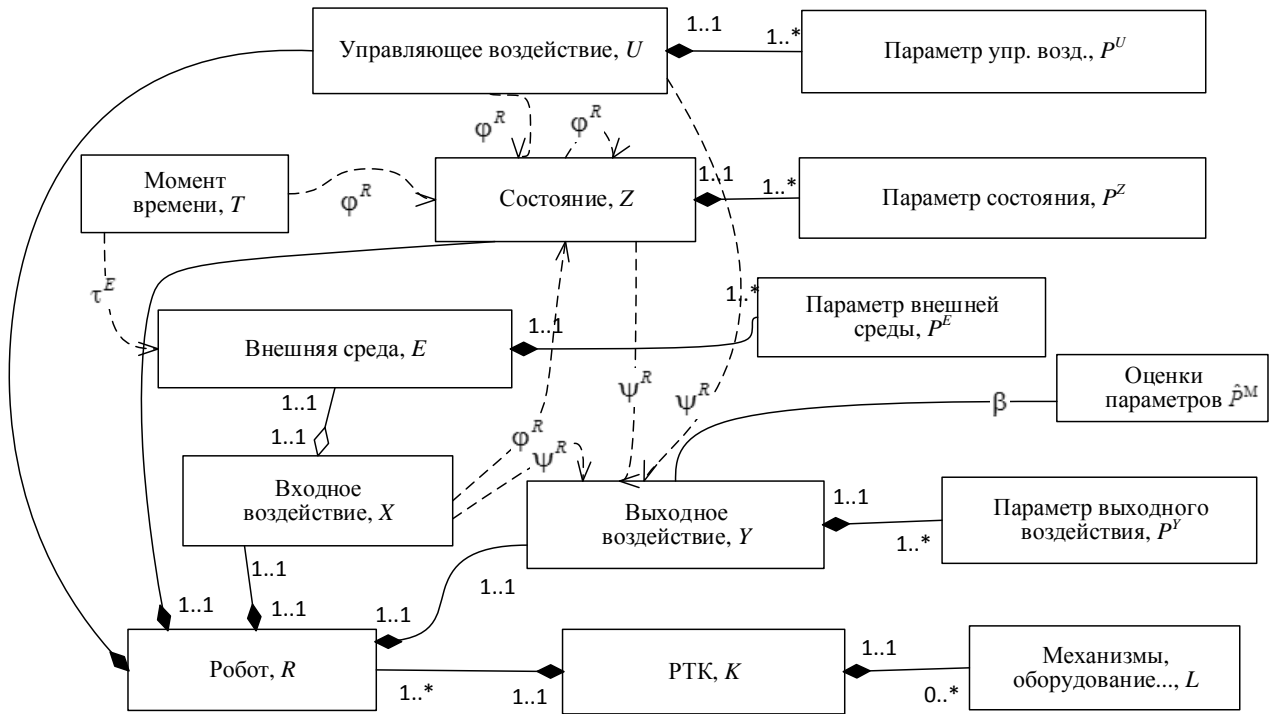


Рис. 3. UML-диаграмма различных воздействий на объект РТК

Эффективность мониторинга  $Q = \{q | q \in [0, 1]\}$  — это комплексное операционное свойство мониторинга, характеризующее его приспособленность к достижению целей, составляющих целевую обстановку. Эффективность определяется функцией времени  $\theta$ , задействованных ресурсов и целевой обстановки, т. е.  $\theta: J^M \times K \times T \rightarrow Q$ . В детерминированной постановке класс  $Q$  можно представить множеством  $Q = \{0, 1\}$ , где 0 означает, что цели мониторинга не достигнуты, 1 — достигнуты, а функция оценивания эффективности является предикатом:

$$q = \theta(j^M, k, t) = \begin{cases} \forall (g^M \in j^M) \exists (t^M \leq t) \rightarrow \\ \rightarrow \left( \begin{aligned} &t^M \in \{\sigma^M\} \wedge \{p^Y\} = \\ &= \{p^M\} \wedge k \in \{k^M\} \end{aligned} \right) \end{cases},$$

где  $p^Y = \beta(\{y | y \in r, r \in k\})$  — результаты мониторинга, полученные в момент времени  $t$  с применением РТК  $k$ .

**Целью управления РТК** называется множество таких траекторий изменения состояний входящих в него роботов, при которых эффективность

мониторинга соответствует предъявляемым требованиям. Для формализации цели управления необходимо ввести термин мгновенное состояние робота, под которым понимается состояние робота в конкретный момент времени. Класс мгновенных состояний представляет собой множество кортежей  $Z^T = \{z^T | z^T = \langle z, t | z \in Z, t \in T \rangle\}$ .

Тогда класс целей управления в формализованном виде представляет собой множество

$$G^U = \left\{ g^U \left| g^U = \left\{ \left\{ z^T \mid z^T = \langle z, t \rangle \right\} \mid z \in r, \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. r \in k, \theta(j^M, k, t) = 1 \right\} \right. \right\},$$

которое связано с целевой обстановкой отображением  $\varepsilon: J^M \times Q \rightarrow G^U$ .

**Задачей управления РТК** является достижение цели управления РТК из текущего состояния РТК, т. е.:

$$W = \left\{ w \mid w = \left\langle g^U, \left\{ z^T \mid z^T = \langle z, t \rangle \right\} \mid z \in r, r \in k \right\rangle \right\}.$$

Под операцией понимается упорядоченная совокупность взаимосвязанных управляющих воздействий робота, направленных на достиже-

ние цели операции. Компонентами операции являются экземпляры следующих классов:

1. *Начальное состояние*  $(Z^A = \{z^A | z^A \in Z^T\})$  —

мгновенное состояние робота в момент времени начала операции.

2. *Цель операции*  $(G^A = \{g^A | g^A \in Z^T\})$  — тре-

буемое состояние робота, достигаемое путем преобразования начального состояния.

3. *Модель операции* —  $M^A = \{m^A | m^A = \{z^T | z^T \in Z^T\}\}$  — априорная (модельная) траектория изменения состояния робота.

4. *Модель управления*  $M^U = \{m^U | m^U = \{u, t | u \in U, t \in T\}\}$  — последовательность управляющих воздействий, выдаваемых в определенные моменты времени.

Таким образом, *класс операций* представляется множеством  $A = \{a | a = \langle z^A, g^A, m^A, m^U \rangle\}$ .

*План решения задачи управления* представляет собой совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности, направленных на решение задачи управления, т. е.

$$\Pi = \left\{ \pi \mid \pi = \left\langle \begin{array}{l} \{a | a \in A\}, \\ \chi \mid \chi = \{ \langle a_i, a_j \rangle | a_i, a_j \in A \} \subset A \times A \end{array} \right\rangle \right\},$$

где  $\chi$  — отношение, определяющее последовательность выполнения операций. План выполнения операций является результатом функции планирования  $\rho: W \rightarrow \Pi$ .

Таким образом, получаем следующую диаграмму классов, характеризующих процесс управления РТК (рис. 4).

Объединяя разработанные модели, получим концептуальную модель предметной области управления РТК (рис. 5).

Таким образом, с помощью нотации *UML* и теоретико-множественного подхода к математическому моделированию была разработана концептуальная модель предметной области управления робототехническими комплексами мониторинга.

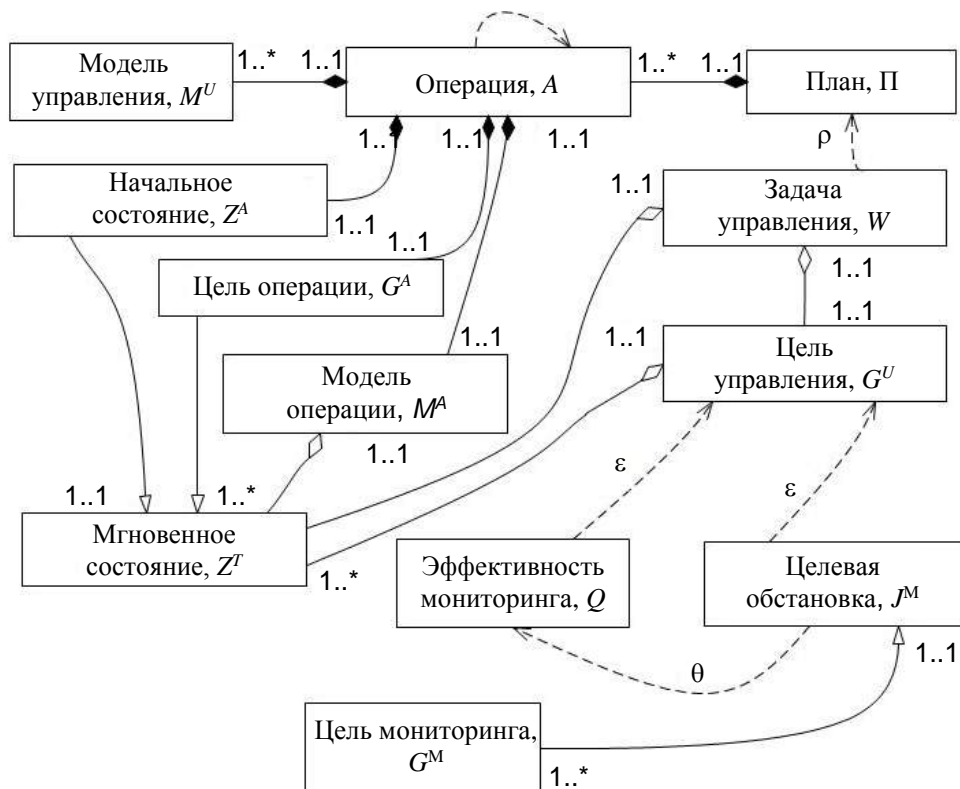


Рис. 4. UML-диаграмма классов, характеризующих процесс управления РТК





стем, поддерживающих язык *UML*. Разработанная концептуальная модель обеспечивает унификацию алгоритмов управления различными

роботами и РТК, что предоставляет возможность их взаимодействия и гибкой реконфигурации при решении задач мониторинга.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко Н. Н. Современные космические аппараты для информационного обеспечения группировок войск на театре военных действий // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 1(94). С. 42–54.
2. Семенов Д. О., Захаров А. И., Лускин Б. А. Проектирование робототехнических комплексов в ЦКБ МТ "Рубин" // Экстремальная робототехника. 2018, Т. 1. № 1. С. 504–508.
3. Мобильные роботы Сервосила "Инженер". URL: <http://www.servosila.com/ru/mobile-robots/index.shtml> (дата обращения 1.07.2022).
4. Порубов Д. М., Беляев А. М., Берсенов П. О. и др. Беспилотное мобильное транспортное средство для мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий // Известия МГТУ "МАМИ". 2017. № 1(31). С. 47–56.
5. Власенко А. Н., Ивашева А. Ю., Лапин О. Е. и др. Система для автономного мониторинга радиационной обстановки вокруг атомной электростанции: междун. науч.-техн. конф. "Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции". Санкт-Петербург, 7–8 июня 2018 г. С. 139–147.
6. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. — М.: Физматлит, 2009. — 280 с.
7. Аверкин А. Н., Гаазе-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. — М.: Радио и связь, 1992. — 256 с.
8. Фоминов И. В., Хлебников С. Г. Анализ технологических проблем построения роя малых космических аппаратов // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 1(141). С. 24–28.
9. Oberle D. Semantic Management of Middleware. Springer, 2006. — 268 p.
10. Привалов А. Е., Бугайченко П. Ю., Шафигуллин И. Ш. Применение онтологического подхода к разработке электронного словаря предметной области управления организационно-техническими системами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 12. С. 364–370.
11. Привалов А. Е., Хлебников С. Г. Многоагентная имитационная модель функционирования космодрома на уровне APS-системы // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2019. № 668. С. 37–44.
12. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. — М.: ДМК Пресс, 2006. — 496 с.
13. Калинин В. Н. Теоретические основы системных исследований: краткий авторский курс лекций для адъюнктов академии. — СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2011. — 278 с.
14. Кузнецов С. А. Большой толковый словарь русского языка. — СПб.: Норинт, 2008. — 1536 с.
15. ГОСТ 60.0.0.4-2019 / ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения / подготовлен ЦНИИ РТК РТК : утв. и введ. в действ. Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 14.02.2019 г. №31-ст : взамен ГОСТ Р ИСО 8373-2014. — М.: Стандартинформ, 2019. — 31 с.

## CONCEPTUAL MODEL OF THE SUBJECT AREA OF CONTROL OF ROBOTIC MONITORING COMPLEXES

A. E. Privalov, S. G. Khlebnikov

Military Space Academy named after A. F. Mozayskij, St.-Petersburg, Russia

*The article presents the developed conceptual model of the subject area of control of robotic monitoring complexes built using the universal modeling language UML and the mathematical apparatus of set theory, which can be used as a single theoretical basis for the development of control systems for such complexes. In the process of developing the model, the classes of the subject area of control of robotic complexes and their functionality for the tasks being solved were specified.*

**Keywords:** control, monitoring, conceptual model, robotic complex, theoretical-multiple approach, UML.

**Bibliography** — 15 references.

*Received November 23, 2022*

УДК 658.5.011  
DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_29  
EDN: IHGAWN

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПРАКТИК ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИЙСКОГО ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

<sup>1</sup> Е. П. Марков, канд. техн. наук; <sup>1, 2</sup> Д. К. Щеглов, канд. техн. наук

<sup>1</sup> АО «Северо-западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей»—Обуховский завод», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

*Представлен результат анализа применения универсальных методик управления проектами в деятельности предприятий российского оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Рассмотрены и систематизированы основные особенности применения в ОПК проектного подхода на основе использования методики РМВОК.*

*Ключевые слова:* проект, управление проектами, методики проектного управления, предприятие оборонно-промышленного комплекса, ОПК.

Оборонно-промышленный комплекс России представляет собой совокупность организаций и предприятий различной ведомственной принадлежности, относящихся к разным отраслям промышленности и имеющих различные организационно-правовые формы, выполняющих государственный оборонный заказ (ГОЗ) в целях обеспечения национальной безопасности и обороноспособности страны [1].

Предметом ГОЗ, как правило, являются опытно-конструкторские работы (ОКР) и(или) серийное изготовление и поставка оборонной продукции. К такой продукции относятся средства вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и продукция двойного применения. Федеральным законом от 19.07.1998 г. №114-ФЗ "О военно-техническом сотрудничестве" [2] введен термин продукция военного назначения (ПВН), к которой относятся оборонная продукция, переназначенная для экспорта, и связанные с ней услуги, а также объекты интеллектуальной деятельности (конструкторская документация, программное обеспечение, базы данных и т. д.).

**Марков Евгений Петрович**, доцент научно-образовательного центра.

E-mail: e\_markov@mail.ru

**Щеглов Дмитрий Константинович**, доцент, начальник расчетно-исследовательского центра, заведующий базовой кафедрой "Средства ВКО и ПВО".

E-mail: \_dk@bk.ru

*Статья поступила в редакцию 11 ноября 2022 г.*

© Марков Е. П., Щеглов Д. К., 2022

С точки зрения системного анализа любое предприятие ОПК является сложной организационно-технической системой [3], структура и характеристики которой соответствуют ее целевому назначению. Степень соответствия этих характеристик целевому назначению определяет качество системы в целом и эффективность ее целевого применения, которая в значительной степени зависит от совокупности применяемых способов, методов и инструментов управления.

Способ управления, основанный на проектном подходе, в настоящее время получил широкое распространение благодаря универсальности, робастности, ориентированности на использование простых прикладных инструментов.

Проект — это комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на создание уникального продукта или услуги в условиях временных и ресурсных ограничений [4].

Управление проектом — планирование, организация и контроль трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов проекта, направленных на эффективное достижение целей проекта.

Существует несколько популярных методик, которые позволяют достаточно эффективно имплементировать управление проектами в самые разнообразные организационно-управленческие структуры от небольших компаний до крупных интегрированных структур (корпораций, концернов, холдингов и др.) [5]. Кроме этого, разработаны и применяются международные, национальные и отраслевые стандарты управления проектами (табл. 1).

Стандарты и методики управления проектами [6, 7]

Стандарт / методика	Владелец, акцептор	Универсальность применения	Связь с целями организации
<i>Международные*</i>			
ISO 21500:2012	ISO, 32 страны	Да	Нет
PMBOK	PMI	Да	Нет
ICB	IPMA	Да	Нет
<i>Национальные</i>			
ГОСТ Р 54869-2011	РФ	Да	Нет
ГОСТ Р ИСО 21500-2014	РФ	Да	Нет
C—PMBOK	Китай	Да	Нет
P2M	Япония	Нет	Да
PRINCE 2	Великобритания	Да	Нет
DIN 69901	Германия	Да	Нет
AFITEP	Франция	Нет	Нет
<i>Отраслевые</i>			
Руководство по управлению проектами	ГК "Росатом"	Нет	Да
Управление проектами в нефтегазовом комплексе	ПАО "Газпромнефть"	Нет	Да
Система проектного управления с использованием метода "Контрольные точки"	АО "ОСК"	Нет	Нет
РК—98—КТ и РК—11—КТ	ГК "Роскосмос"	Нет	Нет
ECSS	ЕКА	Нет	Нет
NASA PM	NASA	Нет	Да

Примечание. \* Официальный международный статус имеет стандарт ISO 21500; методики PMBOK и ICB являются международными де-факто в силу обширного практического применения в большинстве стран мира.

Многие государственные и частные интегрированные структуры прилагают значительные усилия по совершенствованию процессов управления, выбирая в качестве методологической основы различные варианты проектного подхода. Уже существуют и применяются на практике корпоративные стандарты управления проектами в ГК "Росатом", ГК "Роскосмос", ПАО "Газпром" и других интегрированных структурах. При этом необходимо четко понимать, что внедрение любой системы управления не является панацеей. В целом, при внедрении в практику управления предприятия любой системы управления можно говорить лишь о некотором положительном эффекте. Данное утверждение верно и для методик проектного управления.

В современных практиках управления предприятиями ОПК имеется тенденция на внедрение инструментов управления проектами "снизу", когда отдельные элементы методик управления проектами используются в работе структурных подразделений. Внедрение адаптированной методики управления проектами на предприятии в целом также встречается, но существенно реже и она, как правило, затрагивает конструкторские подразделения и опытное производство.

В современных научных публикациях по тематике управления проектами в конструктор-

ской и производственной деятельности необходимость внедрения методик управления проектами обосновывается лишь общими рассуждениями об их эффективности [8 — 10], ответ на вопрос, что реально дает внедрение управления проектами для предприятия отсутствует. Поэтому актуальными являются задачи исследования объективной необходимости применения проектного управления в управленческой деятельности предприятий ОПК, определения системы измеримых показателей эффективности проектного управления, формирования рекомендаций по способам внедрения и составу практик управления проектами.

В связи с масштабностью, комплексностью и сложностью поставленной задачи в этой публикации рассматривается только общий подход к проблематике и намечены основные направления исследования. Факты, данные и утверждения, приведенные в данной работе, и неснабженные ссылками на источники, являются обобщением опыта авторов, приобретенного в процессе руководства ОКР по ГОЗ, преподавания дисциплины "Управление проектами" для специалистов предприятий ОПК, подготовки учебных пособий [6, 7, 11], а также исследований, проведенных в рамках НИР [12].

### Анализ

В масштабе предприятия цель его функционирования достаточно глобальна, существенно растянута во времени и не имеет фиксированного срока завершения. Например, в уставах всех предприятий ОПК в том или ином виде в качестве цели фигурирует *"достижение максимальной экономической эффективности и прибыльности, наиболее полное и качественное удовлетворение потребностей физических и юридических лиц в производимой Обществом продукции, выполняемых работах и услугах"*. Иными словами, цель фактически является функцией от времени и факторов изменяющейся внешней среды. Это противоречит определению проекта, реализация которого должна обеспечивать достижение конкретной цели к заданному сроку [4].

На многих предприятиях ОПК в том или ином виде применяют проектное управление по различным направлениям деятельности. К проектам, характеризующимся такими обязательными для проекта этапами, как целеполагание, планирование, создание группы проекта, мониторинг, документирование, завершение и т. п., на предприятиях ОПК можно отнести:

- выполнение НИР и ОКР;
- постановку на производство продукции;
- создание необходимой инфраструктуры (новых рабочих мест, цехов и др.);
- цифровую трансформацию предприятия (внедрение автоматизированных систем управления, проектирования и разработки, разработки технологической документации и т. п.) [13];
- прочие [14].

Выполнение ОКР на предприятиях ОПК, включающих постановку изделий ВВСТ на производство и сопровождение изделий на всех этапах их жизненного цикла, регламентируется следующими нормативными документами:

- ГОСТ 2.103-2013 ЕСКД. Стадии разработки;
- ГОСТ Р 56135-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения;
- ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения;
- серия ГОСТ РВ 15 Система разработки и постановки продукции на производство, в части

группы 0 (общие положения), группы 1 (проектирование и НИР) и группы 2 (разработка, изготовление и испытание опытных образцов) [11].

В соответствии с ГОСТ Р 56136-2014 [15] проектную форму деятельности применяют как вспомогательную и используют для решения частных задач: *"3.29 проект в рамках программы работ по комплексу (образцу), проект (project): Совокупность взаимосвязанных организационно-технических мероприятий, планируемых как часть программы в интересах создания и эффективного использования ПВН"*.

Достижение целевых результатов производственной деятельности предприятия в целом, в том числе и проектной, обеспечивается системой управления предприятием. Управление предприятием осуществляют через управляющие воздействия на его функциональные подсистемы, прежде всего, техническую, технологическую, организационную и экономическую. При этом организационная подсистема занимает особое место в структуре предприятия, одновременно выполняя функции объекта и субъекта управления [16].

Основу организационной подсистемы предприятия составляет организационно-штатная структура, в состав которой входят основные, обслуживающие и вспомогательные подразделения. Отнесение подразделения к какой-либо из этих групп зависит от их функционального назначения, вида основной деятельности предприятия (проектное, производственное, ремонтное и т. д.) и типа производства.

Согласно ГОСТ 14.004-83 [17] под типом производства, понимают классификационную разновидность производства, выделяемую по признакам широты номенклатуры, объема, регулярности и стабильности выпуска изделий. В зависимости от количества выпускаемых изделий и коэффициента закрепления операций ГОСТ 3.1121-84 [18] установлены следующие типы производств: единичное и серийное, которое подразделяется в свою очередь на мелкосерийное, среднесерийное, массовое и крупносерийное. Изготовление опытного образца относится к единичному производству, а по завершении ОКР большинство производств относится к серийному.

Особенности управления процессами производства на предприятиях ОПК приведены в табл. 2.

Сравнение типов управления процессами производства на промышленном предприятии

Классификационный признак	Единичное производство, ОКР (проект)	Серийное производство (технология)
По цели	Достижение уникального результата — производство одного или нескольких экземпляров изделия	Получение повторяемого результата — идентичных по характеристикам и качеству многих экземпляров изделия
По способу планирования	Детальное планирование работ с учетом их взаимосвязей и привязкой по времени	Разовая разработка технологии производства, в дальнейшем — планирование поступления ресурсов и пр.
По типу управления	Ручное управление с непрерывным контролем по широкому набору параметров	Управление по отклонениям от типовых значений параметров процессов и результатов
По результату	Уникальный результат	Массовый повторяемый результат
По технологии производства	Типовая технология получения результата отсутствует	Типовая технология получения результата тщательно отработана и играет ключевую роль
По качеству персонала	Опытные, квалифицированные специалисты, способные решать нестандартные задачи	Специалисты обычной квалификации, точно соблюдающие технологию производства

Трудность внедрения методик управления проектами на предприятиях ОПК в целом — противоречие между процессным и проектным подходами к управлению:

- научно-исследовательские, проектно-конструкторские структуры и опытное производство решают уникальные по результату задачи к определенному сроку;
- авторский надзор и техническое сопровождение изготовления ВВСТ, авторский надзор и сопровождение эксплуатации ВВСТ не могут рассматриваться как проекты;
- большинство обсуживающих и вспомогательных подразделений, серийное производство, используют процессный подход в управлении;
- изготовление единичных и мелкосерийных ВВСТ с его практически всегда уникальной спецификацией (ведомостью поставки) и строго установленными сроками, по сути, могут рассматриваться как проекты.

Таким образом, понятийный аппарат проекта (см. определение) и проектное управление не могут быть применены к предприятию в целом. Только комплексное понимание этой проблематики и обоснованное определение границ применения в рамках структуры предприятия позволит разработать и внедрить на предприятиях ОПК действительно работающие методики управления проектами.

Разработка научно-методических основ таких методик требует проведения анализа особенностей применения методик проектного управления в деятельности предприятий российского ОПК. В качестве основы для сравнения авторы использовали наиболее распространенную в практике проектного управления методику РМВОК.

**Особенность № 1.** На предприятии ОПК проект может быть реализован только для решения частных задач в рамках разработки новых или модернизации существующих образцов ВВСТ.

В результате анализа и обобщения информации о практике управления проектами более чем на 10 предприятиях российского ОПК были установлены следующие особенности:

1. Необходимость исполнять отраслевые стандарты, специфические регламенты и требования заказчика (например, серия стандартов ГОСТ РВ 15 Система разработки и постановки продукции на производство). Наличие программно-отраслевого подхода к управлению жизненным циклом ПВН по ГОСТ РВ 0015-004-2020.

2. Позднее начало проекта, вызванное особенностями согласования старта проекта. Это связано со сложной процедурой целеполагания, определения целевых характеристик, оформления ТЗ(ТТЗ) и согласования их с несколькими сторонами (ВП, головной исполнитель, НИО заказчика и др.).

3. Большое количество смежных организаций — научных организаций и субподрядчиков, от которых часто критически зависит срок реализации проекта (в настоящее время это, связано с поставкой электронной компонентной базы).

4. Конечный результат проекта представляет собой сложное высокотехнологичное изделие, содержащее значительную инновационную составляющую.

5. Матричная модель (начальник отдела и руководитель проекта) управления инженерами и конструкторами.

6. Высокие требования к качеству и надежности изделий, наличие специальных процедур контроля и подтверждения качества.

7. Обеспечение режима защиты информации [19].

При организации проектного управления на предприятии ОПК реализация жизненного цикла проекта может сталкиваться с серьезными трудностями. Стандарт ГОСТ Р 56135-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения определяет жизненный цикл производства ПВН на интервале от задания на проектирование до утилизации изделий; управление жизненным циклом могут осуществлять многие организации; каждой стадии жизненного цикла ставятся собственные цели и задачи. Перечисленные требования не сочетаются с положениями стандартов управления проектами (ГОСТ Р 54869-2011 и др.) и имеющимися успешными практиками на основе наиболее популярных методик управления проектами. Применительно к полному жизненному циклу ПВН нужно говорить о программе проектов, например, на основе стандарта ГОСТ Р 54871-2011 "Проектный менеджмент. Требования к управлению программой".

**Особенность № 2.** В ОПК невозможно реализовать единый проект для всего жизненного цикла изделия.

Согласно популярной методике управления проектами РМВОК [20] факторы внутренней среды предприятия — условия, создаваемые предприятием, реализующим проект, не находящиеся под непосредственным контролем команды проекта, — могут расширить или ограничить возможности управления проектом.

Перечислим наиболее значимые факторы среды предприятия ОПК, оказывающие влияние на проект:

- организационная культура;
- организационная структура и руководство;
- организационные процедуры (как формальные, так и традиции);
- организационные коммуникации;
- инфраструктура (существующие сооружения и основное оборудование);
- пространственное положение объектов инфраструктуры;
- материальные ресурсы, которые могут быть использованы в проекте;
- трудовые ресурсы, которые могут быть использованы в проекте;
- научно-технические ресурсы, которые могут быть использованы в проекте;
- технологические ресурсы, которые могут быть использованы в проекте;
- информационные ресурсы, которые могут быть использованы в проекте;

- уровень системы автоматизации предприятия, специализированные автоматизированные системы (документооборот, проектирование и др.).

Та же методика РМВОК определяет факторы внешней среды предприятия, как краткосрочные и долгосрочные факторы, уникальные события, влияющие на состояние и деятельность предприятия, так и, факторы, опосредованно влияющие на реализацию проекта [18].

Наиболее значимые внешние факторы, которые могут оказать влияние на проект предприятия ОПК:

- ситуация на рынке (уровень деловой активности, доступность финансов, величина спроса и т. д.);
- ситуация с наличием заказов, программ научных исследований, программ ОКР, условия финансирования и т. д.;
- ситуация с условиями финансирования;
- ситуация со смежниками и субподрядчиками (наличие ресурсов, финансовая достаточность и устойчивость и др.);
- корпоративные, государственные и промышленные стандарты (например, предписания контролирующих органов, кодексы поведения, стандарты на продукцию, стандарты качества, стандарты изготовления);
- территориальное распределение оборудования, ресурсов, производственных и испытательных площадок;
- корпоративные и отраслевые базы данных (сметные расчеты, данные изучения промышленных рисков, исторические данные).

Для практики внедрения проектного управления рассмотрим типовые (в нотации методики РМВОК) роли внешних по отношению к проекту субъектов, оказывающих влияние на ход и исход проекта [20].

*Инвестор* выбирает идею, определяет цель проекта, вкладывает в проект финансовые ресурсы, согласовывает выбор заказчика проекта.

Для предприятий ОПК, являющихся головными исполнителями ОКР, таковыми могут выступать:

- государство в лице министерств и ведомств, реализующее ГОЗ и разнообразные целевые программы;
- прочие коммерческие заказчики ПВН;
- коммерческие заказчики конверсионной продукции.

На рис. 1 представлена одна из возможных схем формирования идеи проекта в реалиях предприятия ОПК на примере инициативных НИОКР (инвестиционных проектов).



Рис. 1. Алгоритм формирования идеи НИОКР и ее включение в инвестиционный план предприятия (вариант)

Спонсор одобряет старт проекта, возглавляет проект, обеспечивает выделение ресурсов, решает проблемы за пределами полномочий руководителя проекта, несет ответственность перед инвестором за достижение цели проекта\*. Как правило, спонсор проекта имеет тесные связи как с инвестором, так и организацией, исполняющей проект. С одной стороны, спонсор является носителем идеи проекта, разделяет ценности и мировоззрение инвестора. С другой стороны, спонсор должен иметь серьезное влияние (формальное или неформальное) на заказчика и исполнителя проекта. Необходимо, чтобы спонсор был заинтересован в успешном завершении проекта [20].

Для предприятий ОПК роль спонсора проекта играют головные предприятия интегрированных структур. Также в этой роли может выступать головной научно-исследовательский институт по виду техники (деятельности), головной исполнитель ОКР [15].

Заказчик принимает на себя ответственность перед инвестором за реализацию проекта, принимает от него ресурсы всех видов (финансовые и др.), формализует требования к результатам проекта и принимает результаты проекта. Заказчик подбирает спонсор или инвестор. В любом

случае инвестор должен быть информирован о выборе заказчика проекта [20].

Государственным заказчиком оборонного заказа выступает Департамент Министерства обороны Российской Федерации по обеспечению государственного оборонного заказа (ДОГОЗ) [21]. Выбор исполнителя осуществляется на конкурсной основе в соответствии с Федеральными законами от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ [22] и от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ [23].

Коммерческие заказчики вольны самостоятельно выбрать уполномоченную организацию. Иностранные заказчики взаимодействуют с предприятиями ОПК через организацию Рособоронэкспорт.

Руководство предприятия ОПК обеспечивает высший уровень управления проектом, взаимодействует со спонсором для общего контроля хода реализации проекта и получения обратной связи от инвестора, несет ответственность перед заказчиком за достижение формализованного результата проекта.

Партнеры имеют с предприятием-исполнителем договорные отношения и обеспечивают поставки ресурсов для проекта, оказание услуг, выполнение работ. Например, предприятие ОПК может быть исполнителем составной части (СЧ) ОКР, изготовителем опытного образца ВВСТ [15]. Партнерами являются любые подрядные предприятия, а также головные и прочие научные организации.

\* Здесь имеет место пример неудачного прямого перевода. В английском языке понятие "спонсор" несет более широкую смысловую нагрузку.



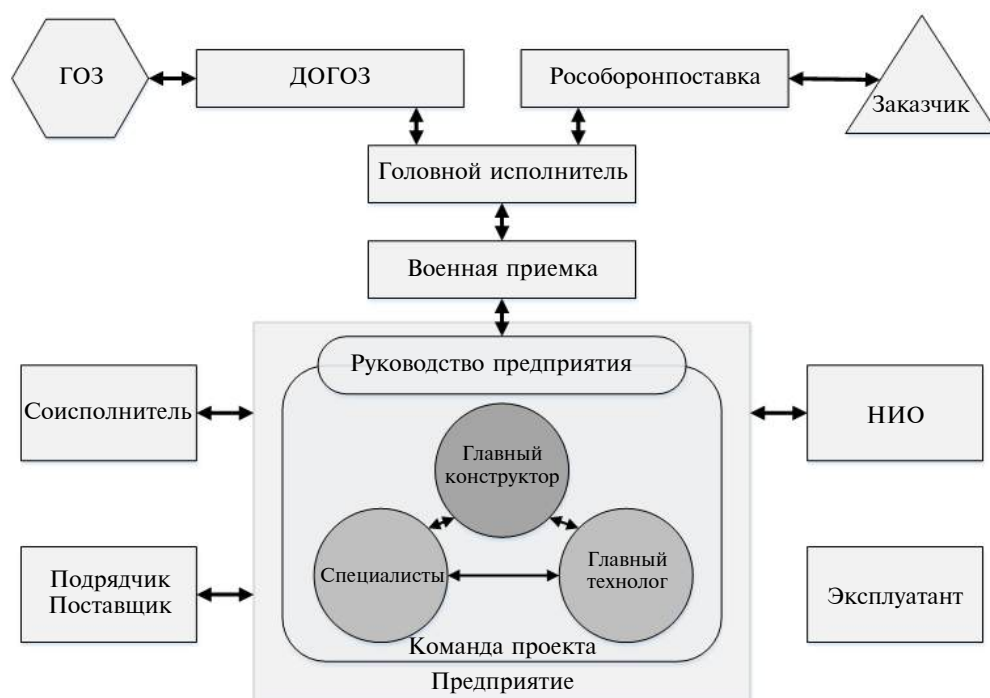
Особенность № 3. Как правило, предприятия ОПК не имеют прямой связи с эксплуатантами изделий.

На рис. 2 представлены вышеперечисленные заинтересованные стороны проекта на предприятии ОПК.

На предприятиях ОПК возможны три варианта назначения руководителя в зависимости от масштаба проекта.

зданию новых (перспективных), технически сложных (ресурсоемких) образцов (комплексов, систем) ВВСТ, имеющих стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства могут быть только генеральные конструкторы [24]. Решение о наделении кандидата полномочиями генерального конструктора и о прекращении таких полномочий принимает Военно-промышленная комиссия Российской Федерации по представлению коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.

Согласно ГОСТ РВ 15.203-2001 главный конструктор организации, выполняющей ОКР (СЧ ОКР), фактически обязан выполнять функции руководителя проекта. Главный (генеральный) конструктор и (или) головной исполнитель ОКР (исполнитель СЧ ОКР) в соответствии с действующими нормативными правовыми актами Российской Федерации несут ответственность за: обеспечение требуемого технического уровня, обоснование и выполнение сроков создания изделий ВВСТ, полноту и достаточность их отработки, качество документации, качественное выполнение заключенных контрактов на каждом этапе выполнения ОКР (СЧ ОКР), качество и комплектность поставляемой заказчику продукции [6, 11].



**Рис. 2. Заинтересованные стороны проекта предприятия ОПК**

Главный (генеральный) конструктор изделия (СЧ изделия) ВВСТ и главный технолог проекта (другие заместители) в части, их касающейся, несут ответственность за:

- полноту выполнения ОКР (СЧ ОКР) в целом, обеспечение соответствия выполненным работ, изготовленного опытного образца изделия ВВСТ требованиям государственных стандартов, ТТЗ заказчика, технической документации, а также тактико-техническим характеристикам и условиям контракта;

- достаточность теоретической и экспериментальной проработки конструкторских и технологических решений по созданию изделий ВВСТ (СЧ изделий ВВСТ) и за соответствие их научно-техническому уровню требованиям, определенным ТТЗ (ТЗ);

- качество рабочей конструкторской, технологической (директивной и рабочей — для изготовления опытного образца изделия ВВСТ), программной, эксплуатационной документации;

- качественное выполнение всех мероприятий, предусмотренных документами планирования работ на выполнение ОКР в целом и СЧ ОКР, а также мероприятий по устранению недостатков, выявленных при выполнении ОКР (СЧ ОКР);

- качество и комплектность изготавливаемых опытных образцов изделий ВВСТ (опытных образцов СЧ изделий ВВСТ);

- планирование, координацию и контроль работ по выявлению и решению принципиальных конструкторских и технологических проблем, связанных с созданием и производством разрабатываемых изделий ВТ (СЧ изделий ВВСТ).

**Особенность № 4.** На предприятиях ОПК невозможно назначить полноценного руководителя проекта, который работает только со своим проектом и имеет реальные финансовые, кадровые и прочие полномочия в рамках бюджета проекта, не требующие дополнительных согласований, разрешений, утверждений.

На практике требования ГОСТ РВ 15.203-2001 приводят к тому, что при адаптации методик управления проектами типа РМВОК к реалиям предприятий ОПК, руководителями проектов назначаются главные конструкторы, а все их заместители назначаются заместителями руководителя проекта (вариант). В результате вместо руководителя проекта, который занимается только своим проектом и думает только о том, чтобы завершить его в срок с надлежащим качеством, как главный конструктор продолжает по мере сил заниматься несколькими десятками проектов. То же самое делают и все заместители

руководителя проекта. Кроме того, в штатном расписании ряда предприятий ОПК введена должность генерального конструктора, осуществляющего руководство всеми проектами предприятия. Таким образом, функция руководителя конкретного проекта замещается иерархией руководителей, каждый из которых осуществляет фрагментарное руководство проектом в рамках своих полномочий и зоны ответственности.

**Особенность № 5.** Предприятия ОПК активно внедряют современные средства автоматизации проектно-конструкторских работ, базирующиеся на зарубежных практиках.

Применение на предприятиях ОПК систем управления инженерными данными, систем автоматизированного проектирования, систем автоматизации нормативно-справочной информации подразумевает наличие роли руководителя проекта, обеспечивающего создание структуры разрабатываемого изделия и назначения прав доступа на проведение операций с его составными частями.

К этой группе особенностей также следует отнести: отсутствие согласованных с ВП МО детализированных нормативов трудоемкости на разработку 3D-моделей и электронных технических документов (ЭТД), особые требования к хранению и защите ЭТД, отсутствие опыта работы с цифровыми активами (в том числе, цифровые прототипы изделий, цифровые двойники изделий и объектов производства) [6], отсутствие опыта применения новых стандартов по работе с ЭТД.

**Особенность № 6.** Отсутствие общепринятой терминологической базы, адаптированной к особенностям управления проектами на предприятиях ОПК.

Терминологическая база разработанных к настоящему времени нормативно-технических документов не адаптирована к особенностям производственной деятельности предприятий ОПК. При этом многие используемые зарубежные термины имеют российские аналогии. Например, анализ контекста (вместо обоснования и особенностей выполнения), контрольные точки (вместо приёмки этапов), верификации (вместо входного контроля или нормоконтроля), валидация (вместо приемки и испытаний), мониторинг (вместо текущего контроля), команда и человеческие ресурсы (вместо бригады и коллектива).

Все это требует разработки отечественного словаря терминов по управлению проектами в ОПК, а также руководящих указаний по конструированию.

### Вывод

Выявленные особенности показывают, что полноценное внедрение универсальных методик управления проектами типа РМВОК на предприятиях ОПК представляется затруднительным. Однако, усилия в этом направлении должны быть точно просчитаны и обоснованы с точки зрения достижения желаемого эффекта.

Авторы занимаются вопросами внедрения проектного управления на предприятиях ОПК более пяти лет и имеют репрезентативную статистику о вполне массовом движении снизу, когда руководители среднего звена предприятий внедряют отдельные инструменты управления проектами на прикладном уровне, во многом в

инициативном порядке. Польза от использования инструментов управления проектами в практической работе очевидна и предметна.

Необходимо упорядочивать полезные инициативы неравнодушных сотрудников предприятий ОПК и помогать им. Для этого требуется разрабатывать отраслевые и корпоративные стандарты и методики управления проектами, которые определяют границы, помогут избежать ошибок, предложат типовые варианты внедрения полезных инструментов.

По этому пути пошли многие организации и объединения. Среди них ГК "Росатом", ГК "Роскосмос", АО "ОСК", а также практически все добывающие гражданские интегрированные структуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев В. И., Щеглов Д. К., Русина А. А. Краткий энциклопедический словарь военно-специальных и научно-технических терминов. — СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им Д. Ф. Устинова. — СПб., 2022. — 256 с.
2. Федеральный закон от 19 июля 1998 г. № 114-ФЗ "О военно-техническом сотрудничестве Российской Федерации с иностранными государствами" [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/179054/#friends>.
3. Щеглов Д. К., Данилова Л. Г., Выпринцева О. С., Охочинский М. Н. Методология функционально-структурного моделирования сложных организационно-технических систем // Вестник Концерна ВКО "Алмаз—Антей". 2014. С. 11—23.
4. ГОСТ Р 54869-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604?ysclid=I9k890yo9a353028747> (дата обращения: 23.09.2022).
5. Щеглов Д. К., Тимофеев В. И., Андреев И. А., Чириков С. А. Оценка уровня кооперации предприятий интегрированных организационно-производственных структур в условиях диверсификации производства // Инновации. 2019. № 8(250). С. 67—70.
6. Марков Е. П. Управление проектами и оборонно-промышленный комплекс: учебное пособие — СПб.: Балтийская печать. — 2020. — 164 с.
7. Щеглов Д. К., Марков Е. П. Управление инновационными проектами в ракетно-космической промышленности: учеб. пособие. — СПб.: БГТУ "ВОЕНМЕХ". — 2019. — 206 с.
8. Голубев С. С., Елфимов О. М. Повышение эффективности реализации национальных проектов и государственных программ на основе внедрения принципов проектного управления // На страже экономики. 2019. № 3(10). С.16—24.
9. Петров М. Н., Чурсин Р. А. Совершенствование системы управления программами и проектами на предприятиях военно-промышленного комплекса // Креативная экономика. 2019. Т. 13. № 8. С. 1537—1548.
10. Маликова Д. М. Методологические основы программно-проектного управления производством оборонно-промышленного комплекса // Организатор производства. 2017. № 3. С. 37—46.
11. Травлинский А. В., Щеглов Д. К. Этапы жизненного цикла систем воздушно-космической обороны: справ. пособие Балт. гос. техн. ун-т, Каф. средств воен.-косм. и противовоздуш. обороны. — СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2015. — 143 с.
12. Разработка научно-методического обеспечения модели повышения эффективности управления инновационными проектами Роскосмоса, предложений по классификации процессов инновационной деятельности организаций РКП с учетом выбора приоритетных направлений. Отчет по СЧ НИР. — СПб., АО "КБСМ", 2015. — 357 с.
13. Щеглов Д. К., Пиликов Н. А., Тимофеев В. И. Концептуальные основы цифровой трансформации организаций оборонно-промышленного комплекса // Автоматизация в промышленности. 2021. № 2. С. 13—23.
14. Щеглов Д. К., Андреев И. А., Чириков С. А., Тимофеев В. И. Опыт проведения прикладных междисциплинарных исследований территориально распределенным творческим коллективом // Вестник Концерна ВКО "Алмаз—Антей". 2021. № 3. С. 12—24.

15. ГОСТ Р 56136-2014 Национальный стандарт Российской Федерации. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114158?ysclid=19k9btbbzo27028742> (дата обращения: 23.09.2022).
16. Мищенко Е. С. Организационные структуры управления (современное состояние и эволюция): учеб. пособие. — Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. — 104 с.
17. ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/53/5324.pdf?ysclid=19wmy9bnp746260602> (дата обращения: 30.09.2022).
18. ГОСТ 3.1121-84 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов на типовые и групповые технологические процессы (операции). [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/39/3915.pdf?ysclid=19wmnx2jh528626016> (дата обращения: 30.09.2022).
19. Щеглов Д. К., Савельев С. К., Кузнецов А. А. Концептуальные основы построения комплексной системы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации организации оборонно-промышленного комплекса // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2022. № 2(154). С. 3—13.
20. Свод знаний по управлению проектами. Редакция 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://biconsult.ru/files/datavault/PMBOK-6th-Edition-Ru.pdf?ysclid=19k9l3fsew921837523> (дата обращения: 23.09.2022).
21. Департамент Министерства обороны Российской Федерации по обеспечению государственного оборонного заказа. [Электронный ресурс]. URL: [https://structure.mil.ru/structure/ministry\\_of\\_defence/details.htm?id=11389@egOrganization](https://structure.mil.ru/structure/ministry_of_defence/details.htm?id=11389@egOrganization) (дата обращения: 03.11.2022).
22. Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499011838>.
23. Федеральный закон от 18 июля 2011 г. № 223-ФЗ "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц" [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12188083/> (дата обращения: 03.11.2022).
24. Указ Президента РФ от 19 января 2015 г. №18 "О генеральном конструкторе по созданию вооружения, военной и специальной техники" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70745024/> (дата обращения: 23.09.2022).

## **ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF PROJECT MANAGEMENT PRACTICES IN THE ACTIVITIES OF ENTERPRISES OF THE RUSSIAN DEFENSE INDUSTRY**

<sup>1</sup> E. P. Markov, <sup>1, 2</sup> D. K. Shcheglov

<sup>1</sup> JSC "North-West regional center of Concern VKO "Almaz—Antey" — Obukhovsky zavod", St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Baltic State Technical University "VOENMECH" named after D. F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

*The result of the analysis of the applicability of universal project management methods in the activities of enterprises of the Russian defense industry is presented. The main features of the application of the project approach in the defense industry based on the use of the PMBOK methodology are considered and systematized.*

*Keywords:* project, project management, project management methods, enterprise of the defense industry, defense industry complex.

Bibliography — 24 references.

*Received November 11, 2022*

УДК 665.7; 539.61  
DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_4\_39  
EDN: IYJUGD

## **АНТИАДГЕЗИЯ К ТВЕРДЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЯМ КАК ОДНО ИЗ ВАЖНЫХ СВОЙСТВ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Н. В. Данякин*, канд. техн. наук; *В. С. Зимовец*

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко, г. Кострома, Россия

*В. А. Костенко*, канд. воен. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*Рассмотрена проблема негативного воздействия статической пыли (песка) и других твердых загрязнений на горюче-смазочные материалы (ГСМ) с точки зрения адгезии в системе двух контактирующих фаз, где адгезивом является ГСМ, а субстратом — твердое загрязнение. Введено новое свойство ГСМ — это антиадгезия к твердым загрязнениям, определяющее способность внешних, обращенных к окружающей среде поверхностных слоев ГСМ, нанесенного в соответствии с его предназначением на поверхность конструкционного материала, противодействовать возникновению механической прочности при контакте с поверхностью частиц твердых загрязнений. Представлена разработанная "Типовая методика определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям", в которой, в отличие от существующих методик, использован новый алгоритм для количественной оценки способности ГСМ противостоять налипанию (прилипанию) твердых загрязнений, позволяющий определить новый, ранее не рассматриваемый параметр ГСМ.*

**Ключевые слова:** адгезия, антиадгезия, антиадгезионные свойства, горюче-смазочные материалы, твердые загрязнения, методика определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям.

Многообразие существующих областей промышленности и техники требует использование различных видов и типов, отличающихся техническими и эксплуатационными характеристиками, ГСМ, под которыми следует понимать широкий спектр веществ и материалов, изготавливаемых, как правило, из нефтепродуктов и предназначенных для повышения надежности работы (путем обеспечения бесперебойности, уменьшения трения и т. п.) двигателей,

технических узлов и других конструктивных элементов. К ГСМ относятся: топливо (бензин, керосин, дизельное топливо); смазочные материалы, которые по агрегатному состоянию подразделяют на жидкие (называемые маслами), пластичные и твердые (называемые смазками); специальные (технические) жидкости например, тормозная, охлаждающая и др.

Ряд ГСМ в основном смазочные материалы, используют на открытых конструктивных элементах, контактирующих с климатическими внешними воздействующими факторами (ВВФ) [1], другие — помимо основного предназначения, непосредственно применяются для защиты изделий (как правило, металлических) и/или их элементов от климатических ВВФ (например, консервационные и рабоче-консервационные смазочные материалы) [2].

Одним из ВВФ класса климатические, оказывающим как прямое, так и косвенное негативное влияние на механизмы и узлы различных объектов, ГСМ и др., является статическая и динамическая пыль (песок). К последствиям воздействия, статической пыли (песка), обу-

**Данякин Никита Вячеславович**, преподаватель кафедры "Специальные конструкционные материалы, вооружение и средства РХБ защиты".

E-mail: varhzbz@mil.ru

**Зимовец Владимир Сергеевич**, адъюнкт кафедры "Специальные конструкционные материалы, вооружение и средства РХБ защиты".

E-mail: varhzbz@mil.ru

**Костенко Валерий Анатольевич**, доцент кафедры 202.

E-mail: Varnick70@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 5 октября 2022 г.*

© Данякин Н. В., Зимовец В. С., Костенко В. А., 2022

словленной, например, запыленностью рабочей зоны, относятся [3]: ускорение процессов коррозии, ухудшение свойств ГСМ, ускоренная изнашиваемость подвижных деталей вследствие абразивного действия пыли (песка), ухудшение свойств оптических элементов, нарушение работы микросхем высокоточного оборудования.

Современным способом решения проблемы воздействия статической пыли (песка) и других твердых загрязнений, в частности, на ГСМ является применение твердых (сухих) смазок. Однако использование указанных средств не всегда возможно для того или иного изделия (технического узла, конструкционного элемента и др.), что обуславливает необходимость выбора пластичных или жидких ГСМ. При этом, несмотря на то что существующий методический инструментарий позволяет определить запыленность объекта, учитывая адгезионные свойства пыли (например, по методикам, представленным в ГОСТ Р 55175 [4]), чистоту масел на наличие твердых загрязнений [4] или адгезию ГСМ к контактирующим с ними металлическим поверхностям (например, по методикам, указанным в патенте СССР 714247 [6] и патенте СССР 696353 [7]), вопрос оценки адгезии пыли (песка) к ГСМ практически не освещен, а возможность определения способности ГСМ противостоять налипанию пыли (песка) и других твердых загрязнений попросту отсутствует.

#### **Понятия адгезия и антиадгезия горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям**

Адгезией (*adhaesio* — прилипание, сцепление, притяжение) называется поверхностное явление, которое заключается в возникновении механической прочности при контакте поверхностей двух разных тел (конденсированных фаз). Причиной адгезии является молекулярное притяжение контактирующих фаз или их химическое взаимодействие.

В целом, явление адгезии лежит в основе образования прочного контакта (склеивания) между клеящим (связующим) агентом, называемым адгезивом, и телом (как правило, твердым), на которое он наносится, называемым "субстратом". При этом процесс образования адгезионной связи (адгезионного соединения) принято разделять на две стадии:

- первая стадия является "транспортной", при которой происходит перемещение молекул адгезива к поверхности субстрата и определенное их ориентирование в межфазном слое, в результате чего обеспечивается тесный контакт

между молекулами и функциональными группами молекул адгезива и субстрата;

- вторая стадия заключается в непосредственном взаимодействии адгезива и субстрата, которое обусловлено различными силами от ван-дер-ваальсовых до химических (межмолекулярным взаимодействием контактирующих фаз завершается процесс адгезии, что соответствует образованию минимальной межфазной энергии).

Количественной характеристикой адгезии является обратимая термодинамическая работа адгезии ( $\text{Дж/м}^2$ ), необходимая для обратимого изотермического разделения двух приведенных в контакт конденсированных фаз по площади единичного сечения. Эта величина определяется физико-химическими характеристиками контактирующих поверхностей (включая их структуру), она инвариантна по отношению к методу измерения и не зависит от условий формирования адгезионного соединения.

Однако об адгезии, как правило, судят по результатам измерений адгезионной прочности соединения адгезив—субстрат — силы, необходимой для разрушения адгезионного соединения, отнесенной к площади адгезионного контакта ( $\text{Н/м}^2$ ) или к связанной с ней величине, например, к линейной плотности нити ( $\text{Н/текс}$ ), к ширине пленки ( $\text{Н/м}$  или  $\text{Н/(м·с)}$ ), если учитывается скорость отрыва пленки адгезива от субстрата). Поэтому размерность адгезионной прочности зависит от способа ее определения и от характера приложения усилия, вызывающего разрушение адгезионного соединения (например, технологии измерения адгезии, алгоритмы, порядки и способы испытаний, а также показатели адгезионной прочности соединения для различных строительных материалов определены в ГОСТ 31356 [8], ГОСТ 31149 [9], ГОСТ 27325 [10] и др.). При этом величина адгезионной прочности не инвариантна по отношению к методу измерения, поскольку внешнее усилие, вызывающее отделение адгезива от субстрата, тратится не только на преодоление сил адгезии, но и на другие побочные процессы, наиболее значимыми из которых являются деформация адгезива вследствие неодновременного отрыва от поверхности субстрата и преодоления механического зацепления адгезива и субстрата, возникшего из-за шероховатости поверхности или электрических сил, в случае, если в результате контакта адгезива и субстрата возникает двойной электрический слой. Таким образом, адгезионная прочность является не только кинетической величиной, но и статистической, которая определяется случайным распределением дефектов на поверхности раздела

адгезив—субстрат, поэтому значения адгезионной прочности очень чувствительны к размеру экспериментальных образцов.

Необходимо отметить, что адгезионная прочность может соответствовать обратимой термодинамической работе адгезии, но только в том случае, если адгезионная прочность будет определяться в равновесных условиях, т. е. при деформации с бесконечно малой скоростью (аналогично существующей проблеме в физико-химической механике при сопоставлении теоретической и механической прочности твердых тел). В условиях реального эксперимента вопрос о том, какой вклад силы адгезии вносят в величину адгезионной прочности индивидуален для каждого конкретного случая и требует очень внимательного рассмотрения.

Для объяснения конкретных результатов физико-химических экспериментов по измерению адгезионной прочности соединения адгезив-субстрат на макрообразцах и изучению влияния на адгезионную прочность различных факторов существуют следующие теории адгезии, трактующие крайне сложное явление адгезии с различных позиций [11]:

- механическая (микрореологическая) теория (основателем теории является Мак-Бен), которая рассматривает системы с разного рода механическими зацеплениями, а адгезия осуществляется за счет затекания адгезива в поры и (или) трещины на поверхности субстрата с последующим затвердеванием (между адгезивом и субстратом образуются "заклепки", связывающие компоненты адгезионного соединения путем механического заклинивания);

- молекулярная (адсорбционная) теория (разработана Дебройном и Мак-Лареном), определяющая адгезию как результат взаимодействия между адгезивом и субстратом за счет межмолекулярных ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей (т. е. как физическую адсорбцию);

- химическая теория, рассматривающая явление адгезии как результат химического взаимодействия компонентов адгезионного соединения;

- электрическая (электронная) теория (предложена Дерягиным и Кротовой), связывающая адгезию с возникновением двойного электрического слоя на границе раздела между адгезивом и субстратом (контактная электризация имеет место при тесном соприкосновении адгезива и субстрата);

- диффузионная теория (разработана Воюцким), при которой адгезия обеспечивается посредством взаимной или односторонней диффузии макромолекул или их сегментов через границу раздела "адгезив-субстрат" с образова-

нием между адгезивом и субстратом прочной связи;

- релаксационная теория, рассматривающая процессы деформации, возникновение внутренних напряжений и их релаксацию (постепенного перехода термодинамической системы из неравновесного состояния, вызванного внешним воздействием, в равновесное) в адгезиве при отделении пленок адгезива от поверхности субстрата;

- теория слабых граничных слоев (разработана Бикерманом), суть которой сводится к тому, что в зоне контакта адгезива и субстрата образуются "слабые" граничные слои с физико-химическими свойствами, отличными от свойств адгезива и субстрата, которые и определяют прочность адгезионного соединения.

Проблему воздействия (в частности, прилипания) статической пыли (песка) и других твердых загрязнений на ГСМ следует рассматривать как адгезию в системе двух контактирующих фаз, где адгезивом является ГСМ, а субстратом — твердое загрязнение. Однако процесс образования адгезионной связи (адгезионного соединения) принципиально будет отличаться от традиционного наличием нулевой стадии (предшествующей первой транспортной), при которой происходит подвод твердого загрязнения (пыль, песок и др.), как субстрата, к поверхностным слоям нанесенного на изделие ГСМ. При этом наибольшее влияние на непосредственное взаимодействие молекул адгезива и субстрата (вторая стадия) оказывают молекулярные ван-дер-ваальсовы силы, а механизм адгезии, зависящей от природы частиц твердого загрязнения, параметров среды ее существования, состояния поверхностей адгезива и субстрата и площади их контакта, согласуется с молекулярной (адсорбционной), диффузионной и механической (микро-реологической) теориями.

Необходимо отметить, что склонность частиц твердых загрязнений к налипанию (прилипанию) на различные материалы, а также формированию конгломератов обусловлена не только адгезией, но и аутогезией — явлением взаимодействия между собой поверхностей материалов одинаковой природы (применительно к пылевидным материалам, называемым слипаемостью). Она вызвана силами электрического, молекулярного и капиллярного происхождения и зависит от размеров частиц твердого загрязнения, их природы и параметров среды, в которой они находятся (например, песчаные влажные или мокрые конгломераты после высыхания переходят в состояние сыпучего тела, разделяясь на более мелкие частицы). Механизм аутогезии

хорошо согласуется с диффузионной и электрической (электронной) теориями. Отличие в указанном случае адгезии от аутогезии состоит в том, что при адгезии происходит взаимная диффузия твердого вещества и ГСМ, а при аутогезии — взаимная диффузия молекул субстрата. Процесс диффузии приводит к исчезновению резкой границы раздела между поверхностями и образованию спайки, имеющей промежуточный состав. При этом малые силы аутогезии и гладкая поверхность твердых частиц благоприятствуют их движению, в итоге приводящему к ссыпанию, в основном за счет образования статического электричества на поверхности, возникающего от трения гранул при их движении, увеличения отношения поверхности к объему и широты распределения частиц по размерам. Когда силы аутогезии значительны и превосходят адгезионные, то происходит отрыв (ссыпание частиц твердых загрязнений) по границе раздела субстрат—субстрат или адгезив—субстрат, называемый "денудацией".

Несмотря на то, что об адгезии и аутогезии ГСМ к твердым загрязнениям также можно судить по результатам измерений адгезионной прочности соединения адгезив—субстрат, выполненным в соответствии с принципами традиционного методического инструментария, методики, способы и (или) алгоритмы, описывающие порядок исследования качественных или количественных значений адгезионной прочности соединения ГСМ—твердое загрязнение отсутствуют [12]. Кроме того, адгезия ГСМ к твердым загрязнениям рассматривается как отрицательный процесс негативного влияния ВВФ на ГСМ, поэтому наиболее целесообразным является введение такого свойства ГСМ, обуславливающего их способность противостоять налипанию (прилипанию) твердых загрязнений, как антиадгезия.

В научно-технической литературе антиадгезия определена как свойство, которое обеспечивает устойчивость к прилипанию липкого вещества. Оно применимо к различным упаковочным материалам (например, силиконизированный гофрированный картон), покрытиям (специальные лакокрасочные покрытия) и изолирующим прослойкам (тальк, дисульфид, молибден, фторопласт и др.), широко используемым в различных областях промышленности и техники, но не рассматривается в качестве параметра ГСМ [12]. Поэтому антиадгезия ГСМ к твердым загрязнениям является их новым свойством, которое определяет способность внешних (обращенных к окружающей среде) поверхностных слоев

ГСМ, нанесенного в соответствии с его предназначением на поверхность конструкционного материала, противодействовать возникновению механической прочности при контакте с поверхностью частиц твердых загрязнений.

Количественно антиадгезия ГСМ к твердым загрязнениям обратно пропорциональна адгезии ( $\text{м}^2/\text{Дж}$ ) и определяется физико-химическими характеристиками контактирующих поверхностей, включая их структуру. Она также инвариантна по отношению к методу измерения, обуславливающему ее размерность, и не зависит от условий формирования соединения ГСМ—твердое загрязнение.

Количественное значение антиадгезии ГСМ к твердым загрязнениям целесообразно определять одним из следующих методов, принципиально аналогичных методам исследования адгезионной прочности: одновременным отрывом сразу по всей площади контакта (по границе раздела адгезив-субстрат) всех частиц твердого загрязнения от поверхности ГСМ или постепенным расслаиванием соединения ГСМ—твердое загрязнение. Метод одновременного отрыва наиболее точен и приближен к теоретически равновесным условиям, но практическая постановка требуемого эксперимента затруднена вследствие сложности создания условий для равномерного распределения напряжений по всей границе раздела контактирующих фаз. Кроме того, значительную роль для отрыва частиц твердых загрязнений вносят силы аутогезии, поэтому использование второго метода для определения количественного значения антиадгезии образца ГСМ к твердым загрязнениям является наиболее целесообразным. В данном случае антиадгезия становится величиной не только кинетической (внешнее усилие, вызывающее расслаивание соединения "ГСМ-твердое загрязнение", тратится на преодоление различных побочных процессов, помимо сил адгезии и аутогезии: деформация поверхности ГСМ вследствие неодновременного отрыва частиц твердого загрязнения, преодоление их механического зацепления с ГСМ и др.), но и статистической, обусловленной случайным распределением дефектов на поверхности раздела "ГСМ-твердое загрязнение". Учитывая изложенное, на основе метода постепенного расслаивания соединения "ГСМ-твердое загрязнение" разработана новая "Типовая методика определения антиадгезионных свойств ГСМ к твердым загрязнениям" [13], позволяющая проводить оценку количественного показателя антиадгезии образцов ГСМ к твердым загрязнениям.



### Типовая методика определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям

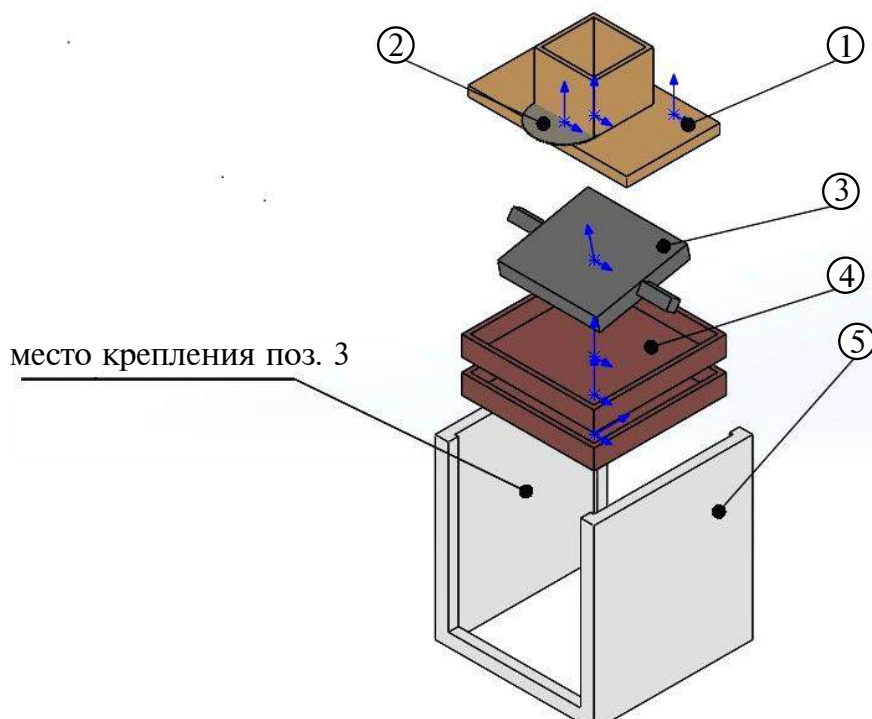
Сущность разработанной методики заключается в том, что при помощи принудительного осаждения песка на поверхность конструкционного материала, на который предварительно был нанесен ГСМ, определяется количественный показатель антиадгезионной способности ГСМ к твердым загрязнителям [14].

Для проведения испытаний использовали пластинки шириной  $(50 \pm 0,2)$  мм, длиной  $(50 \pm 0,2)$  мм и толщиной 3,0–5,5 мм. Допускается при проведении исследовательских испытаний применять пластинки других размеров и из других металлов и сплавов или конструкционных материалов. Непараллельность больших граней пластинок при испытаниях пластичных смазок не должна превышать 0,006 мм. Шероховатость поверхности пластинок должна быть в пределах 1,25–0,65 мкм по ГОСТ 2789 [4]. Пластина должна иметь отверстие для подвешивания, расположенное посередине одной из сторон на расстоянии 5 мм от края. Пластины должны иметь маркировку на поверхности или на бирках из неметаллических материалов, прикрепленных к пластинке капроновой нитью.

Пластинки обезжиривают спиртом путем окунания на 1 мин, затем протирают ватным тампоном и высушиваются на воздухе. Не допускается касаться руками поверхности подготовленных к испытаниям пластинок.

Верхний лоток № 1 и нижний лоток № 2 установки, представленной на рисунке, взвешивают ( $m_{л1}$  и  $m_{л2}$ , соответственно). Данные записывают в рабочую тетрадь (журнал испытаний).

На установке на держателе с магнитом под углом  $45^\circ$  относительно горизонтальной плоскости размещается подготовленная пластинка. Сверху установки располагается контейнер с кварцевым песком дисперсностью 50 мкм и массой 0,055 кг ( $m_{нач}$ ). Песок высыпают на поверхность пластинки путем извлечения задвижки из контейнера. Песок, который не был осажден на поверхность пластинки, попадает в лоток № 1. Лоток № 1 извлекают из установки и взвешивается ( $m_{л1пес0}$ ). Время между извлечением задвижки из контейнера и взвешиванием лотка № 1 не должно превышать 30 с. Пластинку с осажденным песком извлекают из установки. Песок с пластинки удаляют, после чего она обезжиривается и сушится. Песок из лотка № 1 удаляют.



**Общий вид установки для определения антиадгезионных свойств ГСМ к твердым загрязнениям:**

1 — емкость для песка; 2 — задвижка; 3 — держатель пластины с магнитом; 4 — лотки для сбора песка, не осевшего на поверхность пластинки; 5 — корпус установки

Для нанесения на пластинку испытываемого ГСМ, пластинку подвешивают на стеклянный крючок вертикально, погружают при температуре 20—25 °С на 1 мин в ГСМ, затем извлекают и выдерживается на воздухе в подвешенном состоянии в течение времени, установленного нормативно-технической документацией на данное ГСМ, но не менее 1 ч для масел и не менее 20 ч для смазок. Испытания пластинки с нанесенным ГСМ и определение массы лотка № 1 ( $m_{л1пес1}$ ) проводятся также как и с пластинкой без нанесенного ГСМ. Через 60 мин после извлечения задвижки лоток № 2 извлекают из установки и взвешивают ( $m_{л2пес}$ ).

По разнице первоначальной массы песка ( $m_{нач}$ ) и массы песка в лотках ( $m_{л1пес0}$ ,  $m_{л1пес1}$  и  $m_{л2пес}$ ) определяют количество осевшего на пластине песка по формулам:

$$m_{ос0} = m_{нач} - m_{л1пес0} - m_{л1}, \quad (1)$$

где  $m_{ос0}$  — масса песка, осевшего в течение 30 с на пластинке без нанесенного на нее ГСМ, кг (должна быть больше 0 ( $m_{ос0} > 0$ ));

$m_{нач}$  — первоначальная масса песка, кг;

$m_{л1пес0}$  — масса лотка № 1 с осыпавшимся в течение 30 с песком (при испытании пластинки без нанесенного ГСМ), кг;

$m_{л1}$  — масса лотка № 1, кг.

$$m_{ос1} = m_{нач} - m_{л1пес1} - m_{л1}, \quad (2)$$

где  $m_{ос1}$  — масса песка, осевшего в течение 30 с на пластинке с нанесенным на нее ГСМ, кг;

$m_{л1пес1}$  — масса лотка № 1 с осыпавшимся в течение 30 с песком (при испытании пластинки с нанесенным ГСМ), кг.

$$m_{ос2} = m_{ос1} - m_{л2пес2} - m_{л2}, \quad (3)$$

где  $m_{ос2}$  — масса песка, оставшегося через 60 мин на пластинке с нанесенным на нее ГСМ, кг (должна быть меньше массы осевшего в течение 30 с песка на пластинке с нанесенным на нее ГСМ ( $m_{ос2} < m_{ос1}$ ));

$m_{л2пес2}$  — масса лотка № 2 с осыпавшимся через 60 мин песком (при испытании пластинки с нанесенным ГСМ), кг;

$m_{л2}$  — масса лотка № 2, кг.

По полученным результатам определяем коэффициент антиадгезионных свойств ГСМ к твердым загрязнениям ( $K_{aa}$ ), являющийся безразмерной величиной, по формуле:

$$K_{aa} = \frac{m_{ос0}}{m_{ос1}} \left( 1 - \frac{m_{ос2}}{m_{ос1}} \right). \quad (4)$$

Результатом испытаний считается средний коэффициент антиадгезионных свойств ГСМ к твердым загрязнениям, определенный в результате не менее трех параллельных испытаний.

### Заключение

Основываясь на положениях существующих теорий адгезии и аутогезии, проблема негативного воздействия статической пыли (песка) и других твердых загрязнений на ГСМ рассмотрена с точки зрения адгезии в системе двух контактирующих фаз (где адгезивом является ГСМ, а субстратом — твердое загрязнение), введено новое свойство ГСМ, определяющее способность внешних, обращенных к окружающей среде поверхностных слоев ГСМ, нанесенного в соответствии с его предназначением на поверхность конструкционного материала, противодействовать возникновению механической прочности при контакте с поверхностью частиц твердых загрязнений, — их антиадгезия к твердым загрязнениям.

Представлена разработанная "Типовая методика определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям", в которой, в отличие от существующих методик (ГОСТ Р 55175, ГОСТ 12275 и др.), использован новый алгоритм для количественной оценки способности ГСМ противостоять налипанию (прилипанию) твердых загрязнений, позволяющий определить новый, ранее не рассматриваемый параметр ГСМ.

Представленную в статье "Типовую методику определения антиадгезионных свойств ГСМ к твердым загрязнениям" целесообразно использовать в промышленных, научных и учебных организациях при обосновании, разработке, производстве, применении ГСМ, а также для проведения их испытаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26223-86. Перчатки и варежки вязанные. Метод определения измерения линейных размеров после мокрой обработки = Knitted gloves and mittens. Method for determination of finished products linear dimensions changes after wet treatment: Гос. стандарт союза ССР: утв. и введ. в действие Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 26 июня 1984 г. № 2116 : введен впервые : дата введ. 1984-06-26 / подгот. Министерством легкой промышленности СССР. — М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1984.
2. **Хачатрян Ю. Д., Даниякин Н. В., Козлова М. А., Соловых С. Н.** Защита материалов от активных факторов окружающей среды. Часть II. Организация защиты вооружения и средств радиационной, химической и биологической защиты от коррозии, старения и биоповреждений: уч. пос. — Кострома: Изд-во Военной академии радиационной, химической и биологической защиты, 2022. — 163 с.
3. **Иванов П. П.** Гигиена труда. Промышленная пыль. — М., 2001.
4. ГОСТ Р 55175-2012 Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности (Mine atmosphere. Methods of dust content control) : нац. стандарт Рос. Федерации: утв. и введ. Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 23 ноября 2012 г. № 1151-ст : дата введ. 2013-12-01. / разраб. ФГУП ННЦ ГП - ИГД им. А. А. Скочинского, ФГБУН "ИПКОН РАН", ОАО "НЦ ВОСТНИИ". — М.: Стандартинформ, 2014.
5. ГОСТ 12275-66 Масла смазочные и присадки. Метод определения степени чистоты (Lubricating oils and additives. Method for determination of degree of cleanliness) : Межгосуд. стандарт: издание официальное: утв. и введ. в действие Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР 13 октября 1966 г. введ. впервые: дата введ. 1967-04-01.
6. **Темненко В. П., Синченко В. И., Остапенко В. А.** Способ определения адгезии смазочных материалов к металлическим поверхностям. Патент № 714247 СССР. Заявл. 14.11.1977. Оpubл. 05.02.1980.
7. **Ходосевич В. Г., Шевцов А. И.** Устройство для определения адгезии масел. Патент № 696353 СССР. Заявл. 21.07.1977. Оpubл. 05.11.1979. Заявитель Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт.
8. ГОСТ 31356-2013 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний (Dry building cement binder mixes. Test methods) : Межгос. стандарт: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Техн. комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство" 01 января 2009 г. введ. впервые: дата введ. 2009-01-01 / подгот. ГОУВПО "СПбГАСУ" при участии фирмы "Максит", "Вакер Хеми Рус" (техн. центр), АНО "Стандартинжинвест", ГОУ ДПО ГАСИС.
9. ГОСТ 31149-2014 Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза : Межгос. стандарт: изд. офиц.: утв. и введ. в действие утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 8 сентября 2014 г. N 1017-ст : введ. впервые: дата введ. 2015-09-01 / подгот. Техн. комитетом по стандартизации ТК 195 "Материалы лакокрасочные", ОАО "НП фирма "Спектр ЛК". — М.: Стандартинформ, 2014.
10. ГОСТ 27325-87 Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения адгезии лакокрасочных покрытий (Elements and products of wood and wood materials. Method for determination of paint coatings adhesion) : Гос. стандарт Союза ССР: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 17 июня 1987 г. № 2106: введ. впервые: дата введ. 1987-06-17.
11. **Богданова Ю. Г.** Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учеб. пособие. — М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. — 68 с.
12. **Якушина С. И.** Антиадгезионное контактное взаимодействие // Актуальные проблемы в машиностроении. 2019. Т. 6. № 1—4. С. 200—203.
13. **Зимовец В. С., Даниякин Н. В., Гаязутдинов Н. З., Проценко А. А.** Типовая методика определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям. — Кострома: Изд-во Военной академии радиационной, химической и биологической защиты, 2021. — 11 с.
14. **Зимовец В. С., Даниякин Н. В., Соловых С. Н., Гаязутдинов Н. З., Проценко А. А.** Способ определения антиадгезионных свойств горюче-смазочных материалов к твердым загрязнениям. Патент RU 2775519 РФ. G01N 5/00 (2006.01) G01N 21/67 (2006.01). № 2021135080. Заявл. 29.11.2021. Оpubл. 04.07.2022. Бюл. № 19.

## **ANTI-ADHESION TO SOLID CONTAMINANTS AS ONE OF THE IMPORTANT PROPERTIES OF FUELS AND LUBRICANTS**

*N. V. Danyakin, V. S. Zimovets*

Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union S. K. Timoshenko, Kostroma, Russia

*V. A. Kostenko*

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

*The article considers the problem of the negative impact of static dust (sand) and other solid contaminants on fuels and lubricants (POL) in terms of adhesion in a system of two contacting phases, where the adhesive is POL and the substrate is solid pollution. A new property of fuels and lubricants has been introduced — their anti-adhesion to solid contaminants — which determines the ability of the outer surface layers of fuels and lubricants facing the environment, deposited in accordance with its purpose on the surface of a structural material, to counteract the occurrence of mechanical strength in contact with the surface of particles of solid contaminants. The developed "Typical method for determining the anti-adhesive properties of fuels and lubricants to solid contaminants" is presented, in which, unlike existing methods, a new algorithm is used to quantify the ability of fuels and lubricants to resist sticking (adhesion) of solid contaminants, which makes it possible to determine a new, previously not considered parameter fuel.*

*Keywords:* adhesion, anti-adhesion, anti-adhesive properties, fuels and lubricants, solid pollution, method for determining the anti-adhesive properties of fuels and lubricants to solid pollution.

Bibliography — 14 references.

*Received October 5, 2022*

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2022. Вып. 4. С. 1—48.

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 12.12.2022.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 6,0.

Тираж 250 экз. Заказ 2006.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 79379.

**БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2023 г.  
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

Наименование издания	Индекс издания (количество выпусков в год)	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1600,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1750,00		
Экология промышленного производства	4	1600,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1800,00		
Вопросы защиты информации	4	1800,00		
В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.				

*Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.*

**Наши реквизиты:**

Полное наименование организации: \_\_\_\_\_

Сокращенное наименование организации: \_\_\_\_\_

ИНН/КПП \_\_\_\_\_

ОКПО \_\_\_\_\_

Расчётный счёт № \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_

к/с \_\_\_\_\_ БИК \_\_\_\_\_

Юридический адрес: \_\_\_\_\_

Почтовый адрес: \_\_\_\_\_

Контактное лицо \_\_\_\_\_ тел. \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

*(Для оформления счёта и бухгалтерских документов просьба заполнить все строчки).*

**Справочно:**

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: secretariat@ntckompas.ru

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».