

# ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ



- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

- ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ  
И ИЗМЕРЕНИЯ



1'2022



## 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)

# 1 (153) ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Тараскин М. М., Монахов П. А. Анализ задач, решаемых при распознавании ситуаций в системах поддержки выработки решений (Часть 1)..... 3

Пителинский К. В., Сигида М. П. Маковей С. О., Паттерн COVID-19: влияние инновационных и информационных технологий на формирование цифрового средневековья..... 9

Волков В. Ф., Мосин Д. А., Пономарев А. С. Методический подход к обоснованию параметров процесса дистанционного контроля и согласованного применения значимых инфраструктурных объектов ..... 21

### МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Попов И. П. Инерционная, диссипативная и другие виды механической мощности..... 27

Лушпа Е. Ю. Методика совершенствования проекта лабораторной установки "Нагнетательная машина" ..... 32

### ИЗМЕРЕНИЯ. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Нестечук А. Н., Шавин А. С., Хлебников С. Г. Нейросетевая модель идентификации состояния космического объекта по результатам оптических измерений..... 37

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

Богданов В. А., Кузнецов М. С., Лавриненко А. Д., Романов С. П., Широ Г. Э. Устройство помехоустойчивого доплеровского измерителя скорости летательного аппарата ..... 43

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Филиппов М. А. Анализ соответствия полигонных комплексов задачам огневой подготовки подразделений Воздушно-десантных войск..... 52

**Главный редактор**

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

**Заместители главного редактора**

**Ю. А. Чаплыгин**, академик 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**, академик 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**, академик РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»; **И. А. Каляев**, академик 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. Коптев**, д-р техн. наук, проф., председатель научно-технического совета Госкорпорации «Ростехнологии»; **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. Обносов**, 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 007; 65.01

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_3

## **АНАЛИЗ ЗАДАЧ, РЕШАЕМЫХ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЙ (ЧАСТЬ 1)**

**М. М. Тараскин**, д-р техн. наук; **Ю. И. Коваленко**; **П. А. Монахов**  
РТУ МИРЭА, Москва, Россия

*Представлен подход к построению системы распознавания ситуаций в рамках поддержки обоснования и принятия решения. Распознавание ситуации представлено в виде набора взаимосвязанных задач. Дано формальное описание методов распознавания, обеспечивающих отнесение анализируемой ситуации к тому или иному классу или их некоторой совокупности.*

**Ключевые слова:** поддержка принятия решений, информационное решение, распознавание ситуаций, словарь признаков, описание классов объектов, методы распознавания.

Постоянный рост информационной нагрузки на должностных лиц обуславливает требования к сокращению времени на принятие решений при условии сохранения уровня их обоснованности, и таким образом — к повышению их эффективности. Одним из инструментов повышения эффективности в этом смысле является применение информационных технологий при подготовке принятия решений должностным лицом.

Под информационной системой (ИС) в общем случае будем понимать систему [1], реализующую функции сбора, накопления, хранения, отображения, преобразования, распределения и выдачи информации. Основными элементами ИС, как правило, являются люди и комплексы аппаратно-программных средств, автоматизирующие различные функции обслуживания информации. При таком взгляде на ИС появляется возможность говорить о ней как об автоматизированной информационной системе (АИС).

Как известно, АИС — элемент системы управления, включенный в контур обработки информации состояния системы управления и внешней среды, а следовательно, и в процесс управления. Организация процесса управления, например в системах военного назначения, имеет ярко выраженную иерархическую структуру,

которая может быть представлена тремя уровнями различной общности:

- высшим уровнем является цикл управления, состоящий из пяти основных этапов: оценка обстановки, выработка плана, выработка приказа, оформление приказа, доведение приказа до управляемых сил и средств (отметим, что этапы оформления и доведения приказа могут быть полностью автоматизированы, так как на них информация не перерабатывается, а лишь трансформируется из одной формы в другую);
- средний уровень — цикл выработки решения, состоящий из двух этапов: обоснование и принятие решения;
- низший уровень — цикл выработки варианта, состоящий из трех этапов: подготовка данных для решения (задания варианта), решение и анализ варианта.

На первом этапе после генерализации (выделения главных и исключения несущественных признаков) и анализа исходных данных информация состояния фиксирует обстановку, в условиях которой будет происходить очередной цикл выработки управляющих воздействий. Этот этап называется оценкой обстановки.

На втором этапе происходит переработка информации состояния в целях количественного обоснования замысла операции. В результате фиксируется план проведения предстоящей операции. Этот этап называется выработкой плана.

На третьем этапе вырабатывается информация, необходимая для реализации принятого плана операции. Выработанная информация фиксирует совокупность действий, которые должны выполнять управляемые силы и средства, чтобы обеспечить на заданном отрезке времени реализацию плана операции. Этот этап называется выработкой приказа.

**Тараскин Михаил Михайлович**, профессор.

E-mail: professor.59@mail.ru

**Коваленко Юрий Иванович**, доцент.

E-mail: minit@mail.ru

**Монахов Павел Алексеевич**, сотрудник.

E-mail: p.a.monakhov@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 18 января 2022 г.*

© Тараскин М. М., Коваленко Ю. И., Монахов П. А., 2022



На четвертом и пятом этапах (оформление приказа и доведение его до управляемых сил и средств) содержательная переработка информации не производится, осуществляется лишь ее трансформация из одной формы представления в другую.

Остановимся подробнее на этапе оценки обстановки как наиболее сложном и одновременно важном для всех последующих этапов.

Информация состояния, поступающая для анализа лицом, принимающим решение (ЛПР), должна подвергаться генерализации: сортировке, масштабированию, перекодированию, совмещению, детализации, обобщению, отображению и т. п. Обработанная на этапе генерализации информация состояния характеризует внешнюю обстановку на момент ее последнего поступления. Дальнейшие операции являются преобразованием имеющейся информации, новой информации при этом не вырабатывается.

Конечной целью анализа внешней обстановки является, например, распознавание ситуации, что в рамках рассматриваемой предметной области можно понимать, как отнесение совокупности состояний сил и средств противника, проявляющихся через внешнюю обстановку (среду), к тому или иному классу ситуаций. При этом с помощью АИС рассматриваются различные варианты развития ситуации (поведения противника), т. е. вырабатывается новая информация. Варианты анализируются ЛПР, оцениваются, уточняются и корректируются, затем один из них выбирается в качестве исходного для последующих этапов. Такой акт принятия решения, результатом которого является классификация ситуации, называют информационным решением. Вторым и третьим циклами управления вырабатываются, соответственно, организационные и управленческие решения [2].

Выработка информационного решения, например при распознавании ситуации, является одним из важнейших этапов цикла управления. При этом качество (эффективность) такого решения определяется своевременностью (оперативностью) и обоснованностью. Величина оперативности решения обратно пропорциональна времени, затрачиваемому для его подготовки и принятия. Под обоснованностью будем понимать качество выработанного информационного решения ЛПР или человеко-машинной системой (ЧМС), например при распознавании ситуации. В отличие от оперативности измерить обоснованность в процессе выработки решения невозможно, т. к. его качество проявляется только в конечном результате. Априорная оценка обоснованности необходима и возможна, од-

нако использовать ее целесообразно только для сравнительной оценки [2].

Обоснованность и оперативность информационного решения оказывают непосредственное влияние на качество всего информационного процесса, протекающего в АИС, в частности военного назначения, а их величины в значительной степени зависят от уровня перераспределения интеллектуальных функций между человеком и АИС. Это делает необходимым исследование процессов, протекающих в АИС, которые применяются для поддержки обоснования и принятия решений ЛПР.

Для того чтобы обоснованно ответить на поставленные вопросы, которые отображают перечень основных задач, возникающих при выработке информационных решений, например при распознавании ситуаций, необходимо найти решения этих задач. Сделать это возможно только путем их анализа [3].

Первая задача состоит в подробном и тщательном изучении ситуаций, которые планируются для распознавания. Ее цель — уяснить особенности изучаемых ситуаций и выявить различия и сходство их друг с другом. Говорить о решении данной задачи как в смысле цели, так и в смысле процесса возможно только при условии рассмотрения конкретной предметной области.

Вторая задача заключается в проведении классификации распознаваемых ситуаций. Основное в данной задаче — выбор надлежащего принципа классификации. Последний определяется требованиями, предъявляемыми к распознаванию, которые, в свою очередь, зависят от того, какие решения могут приниматься по результатам распознавания неизвестных ситуаций. Решение данной задачи также связано с конкретной предметной областью и целью распознавания.

Третья задача состоит в составлении словаря признаков, используемого как для априорного описания классов, так и для апостериорного описания каждой неизвестной ситуации, подлежащей распознаванию.

Признаки ситуаций могут быть подразделены на логические (детерминированные) и вероятностные (стохастические).

К логическим признакам относятся прежде всего признаки, не имеющие количественного выражения. Эти признаки представляют собой суждения качественного характера типа наличия или отсутствия некоторых свойств или некоторых элементов у распознаваемых ситуаций. К логическим можно также отнести признаки, у которых важна не их величина в распознаваемой

ситуации, а лишь факт попадания или непадения их в заданный интервал. В пределах этих интервалов появление различных значений признаков у распознаваемых ситуаций предполагается равновероятным. На практике логические признаки подобного рода имеют место в таких ситуациях, когда либо ошибками оценок можно пренебречь, либо интервалы значений признаков выбраны таким образом, что ошибки оценок практически не оказывают влияния на достоверность принимаемых решений относительно попадания измеряемой величины в заданный интервал.

Вероятностные признаки — признаки, случайные значения которых распределены по всем классам ситуаций. При этом решение о принадлежности распознаваемой ситуации к тому или иному классу может приниматься только на основании конкретных значений признаков данной ситуации, априорно определенных.

Признаки распознаваемых ситуаций следует рассматривать как вероятностные и в случае, если измерение их значений производится с такими ошибками, что по результатам измерений невозможно с полной определенностью сказать, какое численное значение данная величина приняла.

При разработке словаря признаков сталкиваются с рядом ограничений, связанных, в частности, с возможностью включения в него только тех из них, относительно которых может быть получена априорная информация (априорный словарь признаков), а также необходимостью предварительной оценки их информативности перед формированием окончательного словаря (рабочий словарь).

Все это делает выбор рабочего словаря признаков самостоятельной и сложной задачей, описание которой выходит за рамки настоящей статьи и требует отдельного рассмотрения.

Четвертая задача состоит в описании классов объектов на языке признаков. Ее суть заключается в следующем. Предположим, что в рабочем словаре содержится упорядоченный набор параметров ситуаций: — признаки  $x_1, \dots, x_N$ , причем  $X = \{x_1, \dots, x_N\}$  — вектор, характеризующий пространство признаков распознавания.

Множество упорядоченных величин вида  $x_1, \dots, x_N$  образует пространство признаков размерности  $N$ , а конкретные точки этого пространства представляют собой распознаваемые ситуации.

Предположим, что произведено разбиение ситуаций на классы  $\Omega_1, \dots, \Omega_m$ . Требуется выделить

в пространстве признаков области  $D_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , эквивалентные классам, т. е. характеризуемые следующей зависимостью: если ситуация, имеющая признаки  $x_1^0, \dots, x_N^0$ , относится к классу  $\Omega_i$ , то представляющая его в признаковом пространстве точка принадлежит области  $D_i$ . Это геометрическая интерпретация задачи описания классов. Ее алгебраическая трактовка имеет вид: требуется построить разделяющие функции  $F_i(x_1, \dots, x_N)$ ,  $i = \overline{1, m}$ , обладающие следующим свойством: если ситуация, имеющая признаки  $x_1^0, \dots, x_N^0$ , относится к классу  $\Omega_i$ , то величина  $F_i(x_1^0, \dots, x_N^0)$  должна быть наибольшей. Она должна быть наибольшей и для всех других значений признаков ситуаций, относящихся к классу  $\Omega_i$ .

Если через  $x_q$  обозначить вектор признаков ситуации, относящийся к классу  $\Omega_q$ , то для всех значений вектора

$$F_q(x_q) > F_g(x_g); \quad q, g = \overline{1, m}; \quad q \neq g. \quad (1)$$

Следовательно, в признаковом пространстве при распознавании граница разбиений (или решающая граница) между областями  $D_i \rightarrow \Omega_i$  описывается уравнением

$$F_q(x_q) - F_g(x_g) = 0; \quad x \in \Omega_q \Delta \Omega_g. \quad (2)$$

Если признаки распознаваемых ситуаций — логические и имеют количественные выражения, то для описания их классов на языке признаков необходимо (в предположении достаточности исходной информации) определить диапазоны значений признаков  $\Delta x_j^i$ ,  $j = \overline{1, N}$ , соответствующие классам  $\Omega_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ . При этом каждый из отрезков может рассматриваться как элементарное логическое высказывание  $A, B, C, \dots$ . Если признаки распознаваемых ситуаций — суждения качественного характера, то каждый из них также рассматривается как элементарное логическое высказывание  $A', B', C', \dots$ . Для описания классов на языке этих признаков необходимо выяснить, какими из них характеризуется каждый класс, после этого установить зависимости в форме булевых соотношений между признаками  $A, B, C \dots$  или  $A', B', C', \dots$  и классами  $\Omega_1, \dots, \Omega_m$ .

Если распределение ситуаций по областям  $D_i$   $N$ -мерного пространства признаков для всех значений  $i=\overline{1,m}$  вероятностное, то для описания классов необходимо определить характеристики их распределений: функции плотности вероятности  $f_i(x_1, \dots, x_N)$  значений параметров  $x_1, \dots, x_N$  при условии, что ситуации принадлежат классу  $\Omega_i$ ; априорные вероятности  $P(\Omega_i)$  того, что ситуация, случайным образом выбранная из общей совокупности, окажется принадлежащей классу  $\Omega_i$ .

Выработка сведений о распознаваемых ситуациях и априорное описание классов — весьма трудоемкая часть в решении задач распознавания, требующая глубокого знания свойств этих ситуаций.

Пятая задача состоит собственно в разработке методов распознавания, обеспечивающих отнесение анализируемой ситуации к тому или иному классу или их некоторой совокупности.

Методы распознавания основываются на сравнении той или иной меры близости (меры сходства) распознаваемой ситуации с каждым классом. При этом если выбранная мера близости  $L$  данной ситуации  $w$  с каким-либо классом  $\Omega_g$  ( $g=\overline{1,m}$ ) превышает меру его близости с другими классами, то принимается решение о принадлежности этой ситуации классу  $\Omega_g$ , т. е.  $w \in \Omega_g$ , если

$$L(w, \Omega_g) = \text{extr } L(w, \Omega_i), \quad i = 1, \dots, m; \quad i \neq g. \quad (3)$$

Под термином "превышает" необходимо понимать то, что мера близости  $L(w, \Omega_g)$  минимальна по сравнению с другими вариантами.

В методах распознавания наиболее распространены следующие меры близости.

1. Среднеквадратичное расстояние между данной ситуацией  $w$  и совокупностью эталонных ситуаций  $\{w_{g1}, \dots, w_{gkg}\}$ , представляющих собой  $g$ -й класс  $\Omega_g$ :

$$L(w, \Omega_g) = \sqrt{\frac{1}{k_g} \sum_{s=1}^{k_g} d^2(w, w_{gs})}, \quad (4)$$

причем метод измерения расстояния между ситуациями  $d(w, w_{gs})$  свободен для выбора. Однако несмотря на это, метрика  $d$  должна удовлетворять следующим условиям:

$$d(w, w_{gs}) = d(w_{gs}, w); \quad (5)$$

$$d(w, w_{gs}) \leq d(w, w_{gi}) + d(w_{gi}, w_{gs}); \quad (6)$$

$$d(w, w_{gs}) \geq 0; \quad (7)$$

$$d(w, w_{gs}) = 0, \text{ если } w = w_{gs}. \quad (8)$$

Для количественной оценки  $d(w, w_{gs})$  обычно используется выражение

$$d(w, w_{gs}) = \sqrt{\sum_{n=1}^N k_n^2 (w_n - w_{gsn})^2}, \quad (9)$$

где  $k_n$  — вес признаков эталонных ситуаций.

Вес признаков может быть вычислен по формуле

$$k_n = \frac{1}{\sigma_n^2 \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sigma_n^2}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_n$  — дисперсия некоторого признака эталонной ситуации. При этом если  $\sigma_n \rightarrow \infty$ , то данный признак можно исключить из рассмотрения, так как он ничего не дает при распознавании.

В свою очередь, дисперсия признаков может быть оценена через математическое ожидание (среднее) значений признаков, входящих в различные реализации эталонных ситуаций (классов).

С учетом весов  $k_n$  выражение (4) будет выглядеть как

$$L(w, \Omega_g) = \sqrt{\frac{1}{k_g} \sum_{s=1}^{k_g} \sum_{n=1}^N k_n^2 (w_n - w_{gsn})^2}. \quad (11)$$

2. Риск, связанный с решением о принадлежности распознаваемой ситуации к классу  $\Omega_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Пусть даны описания классов

$$\{f_i(x), P(W_i)\}, \quad x = \{x_1, \dots, x_N\} \quad (12)$$

и риски правильных и ошибочных решений, представляющие собой элементы платежной матрицы вида

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mm} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

По главной диагонали матрицы расположены потери при правильных решениях, а по обеим сторонам от нее — потери при ошибочных ре-



шениях. Если  $c_{ij} < 0$ ,  $i = 1, \dots, m$ , то такие отрицательные потери можно рассматривать как выигрыш при правильных решениях.

Пусть установлено, что значения признаков у распознаваемой ситуации  $w$  составляют  $x_1 = x_1^0, x_2 = x_2^0, \dots, x_N = x_N^0$ . Обозначим это событие через  $a_N$ . Тогда величина условного риска, связанная с решением вида  $w \in \Omega_g$ , при условии, что имеет место событие  $a_N$ , будет равна

$$\begin{aligned} R(w \in \Omega_g / a_N) &= R(\Omega_g / a_N) = \\ &= \sum_{i=1}^m c_{ig} P(\Omega_i / a_N), \end{aligned} \quad (14)$$

где  $c_{ig}$  — значения платежной матрицы;  
 $P(\Omega_i / a_N)$  — условная апостериорная вероятность того, что  $w \in \Omega_g$ .

В соответствии с теоремой гипотез (формулой Байеса)

$$P(\Omega_i / a_N) = \frac{P(\Omega_i) f_i(x_1 = x_1^0, \dots, x_N = x_N^0)}{\sum_{i=1}^m P(\Omega_i) f_i(x_1 = x_1^0, \dots, x_N = x_N^0)}. \quad (15)$$

Решение вида  $w \in \Omega_g$  принимается в случае, если

$$R(\Omega_g / a_N) = \min_i R(\Omega_i / a_N). \quad (16)$$

Шестая задача состоит в разработке специальных алгоритмов управления распознаванием (или работой распознающей системы). Их назначение состоит в том, чтобы распознавание в определенном смысле было оптимальным и выбранный критерий качества этого процесса достигал экстремального значения. В качестве подобного критерия может быть использована, например, вероятность правильного решения задачи распознавания ситуации, среднее время ее решения и т. д. Достижение экстремальной величины названных критериев должно сопровождаться соблюдением некоторых ограничивающих условий. Так, рационально потребовать, чтобы достижение максимальной вероятности правильного решения задачи распознавания осуществлялось в условиях ограничений, например на время решения задачи, а минимизация среднего времени решения задачи распознавания, в свою очередь, осуществлялась в условиях достижения заданной вероятности ее правильного решения и т. д.

Седьмая задача связана с выбором показателей эффективности системы распознавания. В качестве показателей эффективности системы распознавания могут рассматриваться вероятность правильных решений, среднее время решения задач распознавания, величина расходов, связанных с получением апостериорной информации, и т. д. Задачи, решаемые при распознавании ситуации, представлены на рисунке.



Задачи, решаемые при распознавании ситуации

Перечисленные задачи, решаемые при распознавании, очевидно, относятся к различным его этапам. Так, задачи с первой по четвертую (в той постановке, в которой они представлены) входят в этап обучения, причем две первые из них могут конкретно рассматриваться только при условии их отнесения к некоторой предметной области и выбора принципов классификации, существенных для данного рассмотрения. Следующие две задачи (третья и четвертая) носят более общий характер (в смысле их инвариантности предметной области). В силу их важности для всего процесса распознавания, в частности для классификации, они требуют более подробного рассмотрения. Пятая задача — это задача этапа распознавания, который включает следующие пункты:

- описание каждой анализируемой ситуации  $m$ -мерным вектором состояния;
- выбор или построение функций распределения или решающего правила;

• собственно распознавание, т. е. обнаружение изменения состояния ситуации (для случая  $m = 2$ , или задача дихотомии) и ее отнесение к определенному классу (задача классификации).

Первый пункт неразрывно связан с необходимостью сведений о распознаваемых ситуациях (предметная область) и поэтому в данной работе не рассматривается (по аналогии с первой задачей этапа обучения). Второй пункт этапа распознавания аналогичен второй задаче этапа обучения. Третий пункт связан с функциями, которые могут выполняться в АИС как ЛПР, так и автоматически. Для определения обоснованных границ распределения функций между человеком и ЭВМ в целях повышения эффективности поддержки выработки решений при распознавании ситуаций необходимо подробно рассмотреть информационные процессы (их физическую сущность), реализуемые в рамках данного пункта на практике.

Шестая и седьмая задачи относятся к обеспечивающим: повышающим эффективность распознавания и позволяющим ее оценивать на основе показателей.

Таким образом, исследовав основные задачи, возникающие в процессе распознавания ситуаций, можно сделать вывод о том, что для последующего анализа в целях повышения эффективности поддержки выработки решений из их числа необходимо выделить следующие составляющие: составление словаря признаков; описание классов ситуаций на языке признаков (этап обучения); обнаружение изменения состояния ситуации и ее отнесение к определенному классу (этап распознавания). При этом решение последней задачи в рамках ЧМС требует обоснования границ распределения функций между человеком и ЭВМ, или, другими словами, определения степени автоматизации процесса распознавания ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем). — М.: Советское радио, 1976. — 296 с.
2. Тараскин М. М., Коваленко А. П., Коваленко Ю. И., Москвитин Г. И. Проблемы поддержки выработки решения при распознавании ситуаций в автоматизированных информационных системах. — М.: Русайнс, 2017. — 113 с.
3. Тараскин М. М. Теоретические проблемы поддержки выработки решения при распознавании ситуаций в автоматизированных информационных системах. — СПб.: ВУС, 2002. — 332 с.

## ANALYSIS OF PROBLEMS SOLVED WHEN RECOGNIZING SITUATIONS IN DECISION SUPPORT SYSTEMS (PART 1)

M. M. Taraskin, Yu. I. Kovalenko, P. A. Monakhov  
RTU MIREA, Moscow, Russia

*The article presents an approach to building a system that affects the justification and decision support framework. Situation recognition is presented as a set of interrelated tasks. A formal description of the detection of detected, reliable deposits of the analyzed situation to a particular class or their probable approximation is given.*

**Keywords:** decision support, informational solution, situation recognition, feature dictionary, description of object classes, recognition methods.

Bibliography — 3 references.

*Received January 18, 2022*

УДК 004:007:008:304:33:614  
DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_9

## **ПАТТЕРН COVID-19: ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ**

**К. В. Пителинский**, канд. техн. наук; **М. П. Сигида**; **С. О. Маковей**  
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

*Проведен анализ современных тенденций по реализации эффективных социально-экономических решений и их развития под влиянием COVID-19. Отмечена перспективность применения инновационных и телекоммуникационных технологий, робототехники, методов обработки big data и методов управления знаниями при формировании и управлении глобальными экономическими кластерами. Рассмотрена проблема проектного увеличения разрыва уровня социально-экономических возможностей в условиях COVID-19 для различных групп населения (в разрезе их социальной роли и доступности социальных благ при переходе социума в цифровое средневековье).*

**Ключевые слова:** COVID-19, экономика, управление знаниями, цифровое средневековье, неофеодализм, техносфера, ноосфера, big data, инновации, робототехника, тенденции.

Прогнозирование тенденций своевременного развития и возможность своевременного влияния на социально-экономические процессы становятся одними из приоритетных задач общества, решение которых обеспечит контроль и регулирование стабильной и взаимосвязанной работы всех ключевых структур, необходимых для поддержки безопасного существования как всей его холической структуры, так и входящего в него отдельного индивида.

Из-за активного роста населения и потребления природных ресурсов заметно усилилось нарушение равновесия в биосфере. Распространение техносферы значительно изменило все параметры биосферы, а массовая цифровизация усилила интенсивность давления человека на ноосферу, массово создавая и распространяя новые ментальные конструкции. Необходимо учитывать, что ноосфера — сфера глобальной сознательной деятельности человека, взаимодей-

ствия общества и природы, причем интеллектуальная деятельность человека — главный фактор развития этой триады. Ноосфера — побочный продукт развития человечества по пути цивилизации (духовного и технологического развития), постоянно оказывающий сильное влияние на биосферу планеты и хранящий в себе сведения о ее прошлом и будущем [1].

К сожалению, термин "ноосфера" часто поверхностно трактуется просто как *summa sumagum* всей накопленной в мире информации. Для лучшего понимания отметим, что ноосфера — это уникальная особенность нашей планеты, и рассмотрим так называемую четвертую технологическую революцию (подразумевающую новый подход к производству, основанный на массовом внедрении в промышленность информационных технологий и комплексную автоматизацию бизнес-процессов под управлением искусственного интеллекта). В ряде сфер человеческой деятельности наступление данной революции проявлялось еще до распространения COVID-19. Это выражалось в быстром развитии и активном внедрении таких прорывных технологий, как Интернет вещей, био- и нанотехнологии, большие данные (big data) и их интеллектуальный анализ, машинное обучение и т.д.

COVID-19 ускорил рост интереса к информатизации и роботизации сферы услуг, что особенно затронуло сферу услуг в условиях карантинных ограничений (например, доставку товаров, медикаментов и пищи). Массовое применение роботов с последующим вытеснением

**Пителинский Кирилл Владимирович**, доцент, магистр делового администрирования, доцент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: yekadath@gmail.com

**Сигида Максим Павлович**, студент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: maxsigi@yandex.ru

**Маковей Сергей Олегович**, студент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: sergej.magistr98@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 2 февраля 2022 г.*

© Пителинский К. В., Сигида М. П., Маковей С. О., 2022

человека из ряда профессий приведет к движению неолуддитов и росту воинствующего мистицизма, подпитываемому эффектом "зловещей долины" (от англ. *uncanny valley*). "Зловещая долина" — явление, основанное на гипотезе японского робототехника Масахиро Мори, подразумевающей, что робот или иной объект, действующий или выглядящий подобно человеку (но не точно так, как оригинал), вызывает отвращение и неприязнь у людей-наблюдателей.

Именно здесь и встает вопрос о ноосфере, точнее о том, как такое развитие человечества синергетически влияет на биосферу и ее взаимосвязи, а потом через контур обратной связи опосредованно и само на себя. Возникает эсхатологический вопрос о том, каким изменениям уже подвергся человек как осознанный актор (строитель и пользователь ноосферы) и насколько он им еще остается. Ответ на этот вопрос кажется авторам неутешительным. Например, в эпидемиологических исследованиях, проводимых в разных регионах мира, подчеркивается стремительный рост числа лиц, предрасположенных к аллергическим реакциям (кожных покровов, респираторной системы, желудочно-кишечного тракта и т. д.) [2–4], причем общее число лиц с аллергическими реакциями уже превышает треть населения Земли. Главный вывод из этого: иммунная система человека имеет растущую (по ряду причин) дезадаптацию к чужеродным агентам и ее нельзя без необходимости подвергать необоснованным нагрузкам. Также (за счет роста в общей биомассе Земли объема людей и

сопутствующей им экосистемы) сокращаются объем и разнообразие других видов флоры и фауны.

Современный человек в ходе своей жизнедеятельности вынужден взаимодействовать с биосферой и с ее элементами, что выразилось в появлении техносферы (как защиты от агрессивного давления биосферы) и таких сопутствующих ей вещей и технологий, как обработанные продукты питания, одежда, чистящие и моющие средства, определение и поддержание на должном уровне качества воды и воздуха (к которым он эволюционно так и не смог адаптироваться в первую очередь своей иммунной системой, эволюционная функция которой направлена на узнавание и подавление всего чужеродного) и т. д.

Проблемы взаимоотношений человека со средой его обитания и их значение для сохранения здоровья и безопасного проживания требуют комплексного научного исследования. На стыке биотехнологий, кибернетики, физики и химии массово возникают новые технологии управления, оказывающие судьбоносное влияние на дальнейшее развитие современной человеческой цивилизации. Например, в рамках создания системы Starlink, дающей доступ к ресурсам Интернета через бесплатное подключение к спутниковому Wi-Fi, бонусом возможно применение технологий удаленной идентификации и управления биологическими объектами. Этапы запуска и развития проекта Starlink (стоимость полной версии — 10...15 млрд долл.) даны в табл. 1.

Таблица 1

Плановые этапы запуска группировки спутникового Интернета Starlink [5]

| Этап | Начало реализации, год | Состав и содержание проводимых мероприятий  |
|------|------------------------|---|
| 1    | 2014                   | Подача заявки в Международный союз электросвязи (МСЭ)   |
| 2    | Январь 2015            | Публичное объявление о создании спутниковой сети связи с пропускной способностью передачи до 50 % от трафика транзитной связи   |
| 3    | Январь 2016            | Заявление о планах запустить два прототипа спутников в 2016 г. и вывести на орбиту начальную группировку спутников к 2020 г.  |
| 4    | Середина 2017          | SpaceX зарегистрировала торговую марку Starlink для своей спутниковой широкополосной сети   |
| 5    | Ноябрь 2018            | SpaceX получила одобрение регулирующих органов США на развертывание 7518 широкополосных спутников в дополнение к ранее утвержденным 4425  |
| 6    | Декабрь 2018           | BBC США заключили контракт на 28 млн долл. США на ряд услуг по тестированию своих систем на Starlink  |
| 7    | Февраль 2019           | Дочерняя компания SpaceX, SpaceX Services Inc., подала запрос в FCC на получение лицензии на работу до миллиона фиксированных спутниковых земных станций, поддерживающих связь со спутником на негеостационарной орбите |
| 8    | Апрель 2019            | SpaceX перевела свои усилия с исследований и разработок на массовое производство с планированием первого запуска большой группы спутников на орбиту   |
| 9    | Июнь 2019              | SpaceX связалась со всеми 60 спутниками, потеряла связь с тремя, но остальные 57 работают в штатном режиме  |
| 10   | Февраль 2020           | Группировка включает уже 240 аппаратов на орбите  |
| 11   | Апрель 2020            | SpaceX изменила архитектуру сети Starlink и предложила использовать дополнительные спутники на низких орбитах   |
| 12   | Февраль 2021           | Проведен восемнадцатый пуск 60 космических аппаратов Starlink (семнадцатый пуск спутников версии 1.0)   |
| 13   | Октябрь 2021           | SpaceX объявила, что Санджай Бхаргава, который работал с Илоном Маском, возглавит предприятие Starlink в Индии  |

Перечислим территории, уже охваченные проектом Starlink:

- Северная Америка: США, Канада, Мексика;
- Европа: Германия, Новая Зеландия, Австралия, Франция, Австрия, Бельгия, Дания, Индия, Португалия, Польша, Италия, Хорватия, Швеция, Литва;
- Южная Америка: Чили.

При этом для предоставления спутниковых услуг в любом государстве правила МСЭ и заключенные международные договоры требуют, чтобы права на посадку аппаратов предоставлялись в рамках юрисдикции данной страны. Для подключения к Интернету Starlink пользователям требуется предварительная установка спутниковой антенны. По словам автора проекта Илона Маска, габариты антенны совпадают с коробкой от пиццы (45 см) для жилых домов; для предприятий предусмотрены различные размеры (1,4–5 м) (рис. 1). В табл. 2 указаны основные характеристики спутниковых антенн.

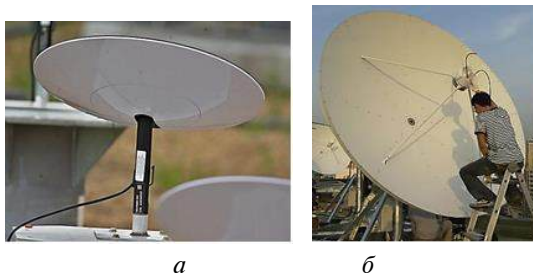


Рис. 1. Спутниковая антенна:  
а — для жилого дома; б — для предприятий

Компактность спутников по габаритам позволяет одной ракете Falcon 9 транспортировать сразу 60 аппаратов. Поскольку каждый спутник оснащен солнечной батареей, нет потребности в резервных источниках питания [6]. В связи со значительным увеличением скорости передачи данных (1 Гб/с) назрел вопрос о переходе стандарта сети на 5G, но об этом пока еще нет официальных данных.

Одним из главных потрясений для всего мирового сообщества с 2020 г. стало появление и распространение COVID-19. Новая болезнь обладала большой скоростью распространения, что при игнорировании стандартных протоколов лечения и при отходе от выработанных до начала эпидемии методов управления социально-экономическими процессами дало необоснованно большое число летальных исходов.

Достаточно ощутимый удар был нанесен по инвестиционному и технологическому секторам рынка, что не только ограничило мобильность рабочей силы, но и позволило быстро сжечь под благовидным предлогом значительные денежные ресурсы, необеспеченные товарами (за счет падения уровня потребления и инвестиций). Так, падение спроса на сырьевые ресурсы привело к феноменальному обвалу их рыночных цен. В особенности это затронуло рынок энергоресурсов, в частности нефти.

На рис. 2 дан график мировых цен на нефть марки "Юралс" с проведенной линией средних фактических экспортных цен.

Таблица 2

Характеристики спутниковых антенн

| Характеристики | Значения   |
|----------------|--|
| Скорость       | 50–150 Мбит/с  |
| Размеры        | Для жилого дома 33–45 см, для предприятий 1,4–5 м                      |
| Задержка       | 20 мс/с  |
| Стоимость      | 499 долл. — терминал с антенной и роутером; 99 долл. — месячная оплата |



Рис. 2. График мировых цен на нефть марки "Юралс" [7]

В период самых жестких ограничений (март—май 2020 г.), связанных с COVID-19, средняя цена не превышала 250 долл. за тонну. Несмотря на то что цена продемонстрировала хорошие темпы восстановления и к концу 2021 г. достигла своих показателей до начала COVID-19, на данном рынке все еще остаются существенные риски. С мая 2022 г. будут повышены референтные уровни добычи сырой нефти для пяти стран ЕАЭС в общей сложности на 1,63 млн баррелей в сутки.

Для РФ повышение составит 0,5 млн (до 11,5 млн баррелей в сутки), т. е. суточная добыча нефти начнет расти на 0,1 млн баррелей ежемесячно с выходом на уровень до COVID-19 в мае 2022 г. (около 10,5 млн баррелей нефти). При этом в последующий период 2022 г. рост ее добычи может продолжиться и достичь нового исторического максимума. По оценкам ЦБ РФ, более быстрое восстановление добычи нефти в рамках новых условий сделки ОПЕК+ может добавить 0,1 % к росту экономики в 2021 г. и 0,1—0,2 % — в 2022 г. в зависимости от динамики добычи после достижения прежнего уровня во II квартале 2022 г. (что, впрочем, находится в пределах статистической погрешности и не учитывает турбулентности внешнеполитических факторов).

Дополнительное понижение нефтяных котировок может быть вызвано снятием санкций с

Ирана, за III—IV кварталы 2021 г. активно нарастившего добычу нефти без увеличения экспорта (вероятно, аккумулировав ранее значительные ее запасы).

Целесообразно рассмотреть общие социально-экономические показатели за период пандемии. Сделаем это не только для РФ, но и для всего ЕАЭС (Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан и РФ). Как видно из табл.3, из-за принятых ограничительных решений по COVID-19 экономическая активность в этих странах значительно сократилась.

Важным моментом в сложившейся ситуации является увеличение нагрузки от роста безработицы на рынок труда и бюджет. Есть серьезная опасность трансформации скрытой безработицы в открытую, обусловленную неполным использованием рабочей силы при сокращении объемов производства и оказываемых услуг.

На рис. 3 приведено соотношение долей незанятого населения стран-членов ЕАЭС в период после экономических кризисов 2008 и 2015 гг. и во II квартале 2020 г.

Влияние COVID-19 затронуло все домохозяйства в мире и дало кардинальные сдвиги в системе образования, которая одна из первых потребовала быстрой перестройки. К примеру, Строков А. А. отмечает, что система образования уже позволяет укомплектовать государства (много)профильными специалистами [9].

Таблица 3

Основные социально-экономические показатели за январь—апрель 2020 г. в % к соответствующему периоду [8]

| Показатели         | Армения | Беларусь | Казахстан | Кыргызстан | Россия |
|--------------------|---------|----------|-----------|------------|--------|
| Промышленность     | 4,2     | -3,8     | 5,9       | -2,8       | -0,6   |
| Сельское хозяйство | 4,1     | 5,2      | 2,2       | 0,2        | 3,0    |
| Строительство      | -9,4    | 4,5      | 5,5       | -5,6       | 0,1    |
| Розничная торговля | 0,6     | 4,7      | -11,8     | -9,7       | -2,8   |
| Грузооборот        | 10,3    | -11,1    | -2,3      | -7,6       | -4,3   |
| Пассажиروоборот    | -14,1   | -14,4    | -25,5     | -28,9      | -3,7   |

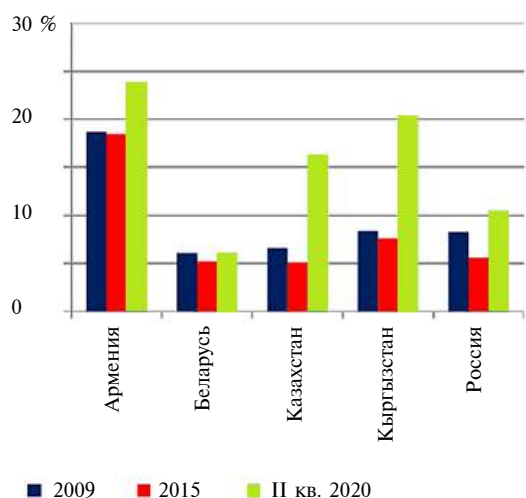


Рис. 3. Уровень безработицы в ЕАЭС за 2009—2015 гг. и число работников, вынужденно простаивающих во II квартале 2020 г., в % от экономически активного населения [8]



Цифровизация процесса обучения получила распространение благодаря мерам по противодействию COVID-19, что говорит как о позитивных сторонах в области образовательной деятельности, так и о ее негативных проявлениях. Действительно, во многих организациях с помощью систем управления обучением реализованы различные виды удаленного обучения, причем семинарские занятия в аудиториях перешли на платформы и сервисы беспроводного взаимодействия при организации видеоконференций (Microsoft Teams, Zoom, Google Meet и т. д.). Рост дистанционных технологий идет с XXI в., и пандемия только ускорила его. Большой спрос заставил организации оперативно настраиваться на новые условия и обеспечивать удаленный режим работы, что резко увеличило число пользователей платформ видеосвязи (рис. 4).

С начала распространения COVID-19 провайдеры столкнулись с проблемой устойчивого функционирования информационно-коммуникационных сетей из-за неготовности их к резким перегрузкам и сбоям, к спросу на облачные хранилища и массовое применение конференцсвязи. По заявлениям зарубежных провайдеров, потребность в сетевых ресурсах увеличилась

в два раза. Для РФ в целом идет прирост пользователей. За I квартал 2020 г. он составил 0,9 %, за II — 13 %, где скачок пришелся на начало самоизоляции (II квартал 2020 г.) [11].

С уходом пользователей на дистанционный формат изменились и показатели рынка электронного обучения. Ожидается, что к 2026 г. он будет составлять около 460 млрд долл. и расти со скоростью 10 %. Так, в 2020 г. объем продаж телекоммуникаций в РФ превысил 1,72 трлн руб. (на 0,7 % меньше, чем за тот же период 2019 г.). Падение произошло от снижения показателей роста мобильной связи, но уже к 2021 г. ситуация приобрела положительную динамику. За этот период средняя стоимость смартфонов увеличилась на 44 %. Аналогично возросли цены на ноутбуки (на 41 %) [12].

По-прежнему востребованы и веб-камеры. Рост их продаж в РФ на 2021 г. составил 750 млн руб., что втрое меньше значений на 2019 г. По заявлению Defender, вскоре потребность в бюджетных моделях иссякнет, уступив место таким брендам, как Logitech или A4TECH, что указывает на увеличение средних цен на новые камеры. Статистика по доле рынка крупнейших производителей веб-камер за I–II кварталы 2021 г. приведена на рис. 5.

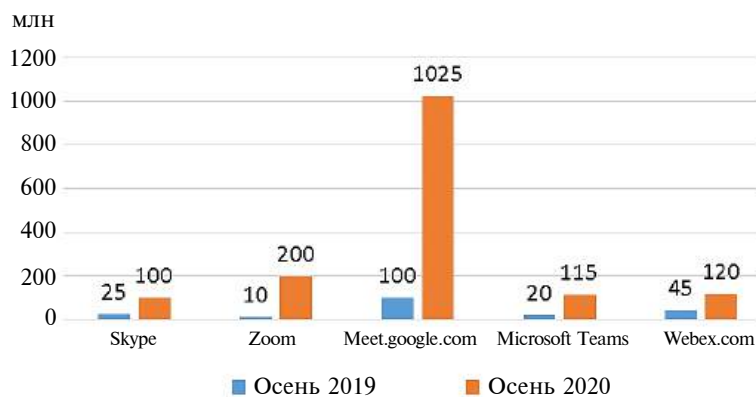


Рис. 4. Статистика активных пользователей платформ конференцсвязи [10]

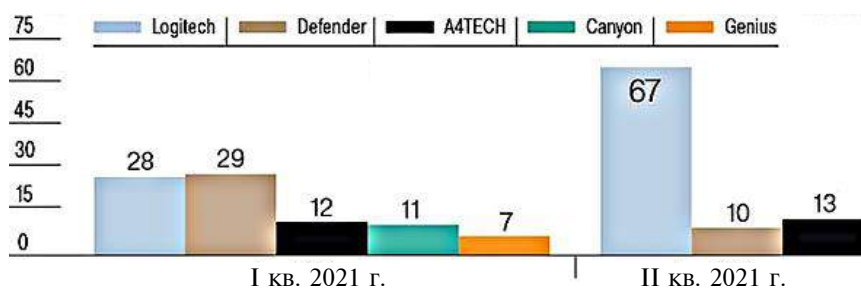


Рис. 5. Крупнейшие производители веб-камер (% рынка)  
(источник — Аналитический центр холдинга GS GROUP) [13]

Согласно исследованиям [14] все проводимые в дистанционном формате занятия обладают преимуществом технологичности, доступности, открытости и возможностью формирования их индивидуального характера. При изучении и анализе документации по организации здравоохранения и нормативных актов властей различного уровня заметна унификация всех известных практик образовательной деятельности. С другой стороны, цифровизация хоть и перешла на современные формы обучения, реакция всех участников учебного процесса была явно не в пользу современных тенденций. Для учащихся существенным *недостатком стала утрата менторской функции образования* (непосредственного контакта с преподавателем) [15]. Примитивная цифровизация отводит человеку роль бездушного "винтика", что ведет к торможению развития общества из-за массового снижения качества когнитивных способностей отдельных индивидуумов.

Система прав и свобод человека тоже претерпела негативную трансформацию. Если ранее с ее помощью общество строилось по классической либертарианской концепции государства и права конца XVIII века, то сейчас в случае конфликта государства и личности эти права могут быть легко отняты или просто проигнорированы (например, в ЕС идет компания по пересмотру решений Нюрнбергского процесса, ограничивающих деятельность выражающей интересы транснациональных корпораций (ТНК) бюрократии). Можно сделать вывод о том, что жители технологически развитых государств перестают принадлежать самим себе и становятся декором политических систем, причем даже не капиталистического, а неофеодального типа, с перспективой скатывания в цифровой концлагерь (т.е. в неорабовладение со "служебными людьми"). Проблемы, появившиеся с развитием COVID-19, во многом связаны с невозможностью выполнения быстрого анализа и верной оценки возможных вариантов дальнейшего развития событий и соответствующих им решений. Это, в свою очередь, сильно осложняет выработку долгосрочной стратегии по управлению всеми социоэкономическими процессами (например, из-за их нелинейности и фрактальной природы).

Анонсирование новой инфекции с самого начала эпидемии стало оказывать влияние на общемировые социоэкономические процессы и экономические кластеры, что ввело в искушение завязанные на ТНК мировые властные центры (МВЦ) использовать ее в своих интересах. Для МВЦ возникла необходимость ввести исследование новой болезни и сопутствующих ей социоэкономических процессов в русло созда-

ния выгодных им новых методов и средств управления. Ввиду очень сжатых временных сроков, плохой обусловленности проблемы и нехватки доверенных МВЦ лиц, принимающих решения (ЛПР) на разных уровнях управления и принятия решений, широко используются современные технологии в области искусственного интеллекта и машинного обучения.

Возможность реализовать абсолютно новые проекты с использованием подобных технологий появилась благодаря высоким темпам развития и предшествующего внедрения инновационных технических и информационных решений. Широкие перспективы открылись перед конечными потребителями высоких технологий в связи с применением нанороботов, информационных технологий, оптоэлектроники, бионики, генной инженерии (особенно здесь заметен прогресс в военном деле) и т.д. С 2008 г. за рубежом активно ведутся работы по совершенствованию аналогового компьютера на основе ДНК живых организмов. В США создана и его элементная база — биологические транзисторы, имеющие больший потенциал, чем электронные аналоги.

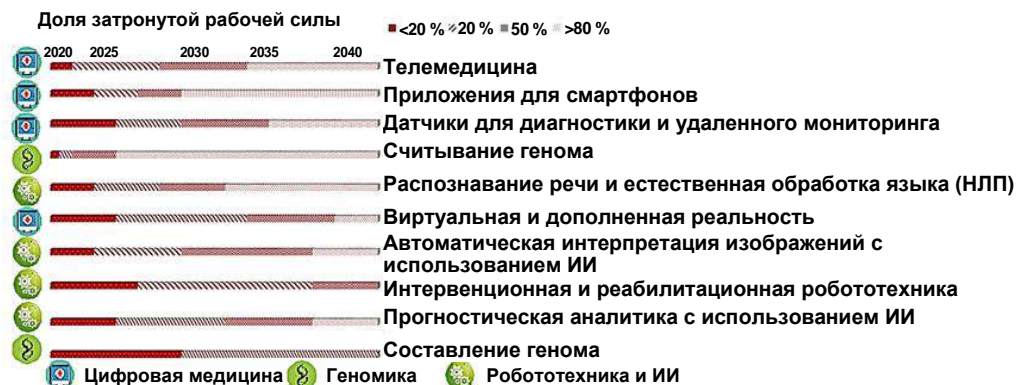
Активно идет обсуждение "Альянса ID2020" — глобального общественного проекта, реализуемого с 2015 г. под патронажем Билла Гейтса и корпорации Microsoft. *Проект направлен на обеспечение цифровой идентификации каждого человека на планете.* Целью проекта заявлено внедрение биометрического микрочипа по технологии Quantum Dot Tattoos ("татуировки с квантовыми точками" [16]), дающего полную информацию об истории вакцинации человека. Аккаунт идентифицированного субъекта будет совмещен с биометрической картой и с реестром геномов человека, который уже создан согласно докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от 12 июня 2021 г. В перспективе возможно добровольно-принудительное введение на основе этой технологии личного цифрового сертификата человека (переболел ли он и получил ли иммунитет к определенному виду болезни, статистика вакцинирования, биометрических характеристик и персональных данных, в том числе удостоверяющих личность, и т. д.) для дальнейшего формирования рейтинга лояльности и позиционирования по нему человека в обществе по уровню доступных конкретной "цифровой личности" прав и ресурсов. Известно, что схожая практика уже была упомянута в решениях Нюрнбергского трибунала 1946 г. Потенциальные сроки внедрения проекта в жизнь пока не регламентированы, поскольку прежде чем приступать к его реализации, требуется попутно решить вопрос защиты конфиденциальности личной жизни от противоправных посягательств

сторонних лиц (но не от обезличенных алгоритмов государственного управления, которое на данном этапе сливается с глобальными финан-

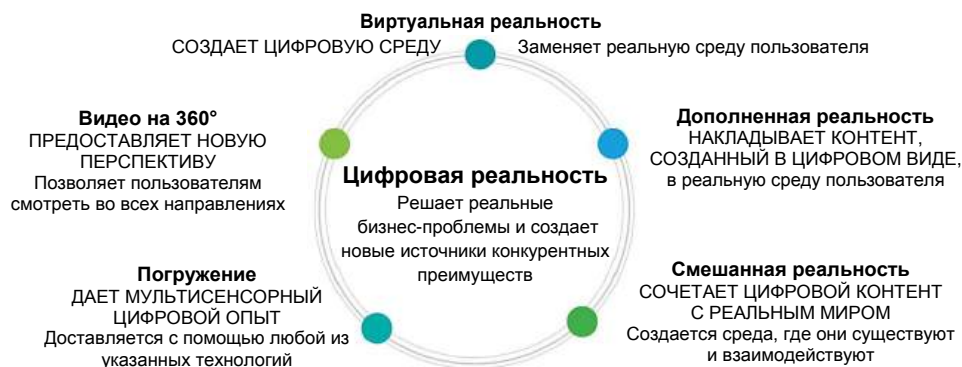
сово-технологическими структурами и с ТНК). Новые концепции систем цифровизации приведены на рис. 6.



а



б



в

Рис. 6. Новые концепции систем цифровизации:

а — цифровая идентификация как перспективное глобальное взаимодействие [17]; б — цифровые технологии медицины и прогноз их влияния на 2020—2040 гг. [17]; в — экосистема цифровой реальности [18]

Данный проект столкнулся с множеством технических проблем и с сопротивлением населения его оцифровке. Однако эта программа имеет поддержку со стороны правительств ряда стран и наднациональных структур. В нее уже интегрированы национальные электронные системы регистрации и программ вакцинации с целью обеспечить каждого человека уникальным идентификатором, привязанным к его биометрическим данным, что, по словам исполнительного директора ID2020 Дакоты Грюнер, "должно повысить социально-экономические возможности" человека. Параллельно с проектом ID2020 идет продвижение аналогичного проекта ВОЗ, сильно зависящего от идей и практики китайского проекта формирования социального рейтинга, чье исполнение на практике начато еще в 2014 г.

В рамках циклической системы управления знаниями (СУЗ) роль накопления, анализа и удержания больших данных в компании становится весьма актуальной концепцией (рис. 7). Большие данные уже заняли почетное место среди современных ИТ-технологий, что обусловлено развитием торговых сетей, Интернета вещей и многих других практических приложений, где обработка больших данных является необходимым условием обеспечения устойчивости реализуемых предприятиями бизнес-процессов (повышение капитализации и конкурентоспособности).



Рис. 7. Элементы циклической СУЗ в компании

Большие массивы данных обычно представляются в неструктурированном виде, отчего не имеют большой ценности. Есть ряд методов обработки больших данных, наиболее распространенные из которых сведены в табл. 4.

В условиях COVID-19 стало очень актуальным изучение инновационно-информационных технологий, реализуемых как на базе технических изделий, так и в виде биологических объ-

ектов. Главной проблемой здесь является быстрая оценка всего спектра возможных рисков от инфекции и прогнозирование сценариев развития событий в ходе противодействия ее распространению. Делать это необходимо в сжатые сроки, с учетом ограниченности человеческих ресурсов для решения данной проблемы и при отсутствии достаточного объема информации для заключения точных суждений о COVID-19.

Таблица 4

Методы обработки больших данных [19]

| Метод                              | Состав метода  |
|------------------------------------|--|
| Data Mining                        | Метод интеллектуального извлечения важных для ЛПР сведений из большого объема плохо структурированных данных   |
| Визуализация                       | Наглядное отображение информации в виде удобных для восприятия ЛПР графиков и схем   |
| Имитационное моделирование         | Составление вычислительной модели данных для исследования сложного объекта/процесса без риска его искажения или негативного влияния либо в условиях неопределенности |
| Краудсорсинг                       | Ручной анализ данных посредством большого коллектива   |
| Машинное обучение и нейронные сети | Создание ПО, позволяющего вести ситуационный анализ и принимать решения с помощью логических связей  |
| Предиктивная аналитика             | Прогнозирование трендов на основе наличия данных у ЛПР   |
| Смешение и интеграция данных       | Сбор данных из многих источников и приведение их к унифицированному виду   |
| Статистический анализ              | Выявление статистических закономерностей среди массивов данных (при их алгоритмической обработке)  |

Принятие каких-либо решений по реагированию на распространение COVID-19 (например, полное игнорирование проблемы без достаточного научного обоснования) несло большие риски для всех уровней общества (экономического, социального, политического). Поэтому большинство стран ввело локдаун, блокируя производство, транспортную систему и коллективные социальные механизмы, что нанесло ощутимый урон всем сферам и стратам общества. Однако это были относительно легко оцениваемые потери с просчитываемыми рисками. Во время заморозки проводились активные социологические исследования, направленные на получение более достоверных оценок системных параметров и выработку дальнейшей стратегии действий, сопряженных с наименьшим уровнем сопутствующих им рисков.

Главным фактором, который руководства данных стран учитывали в ходе принятия своих решений, был возможный значительный экономический спад из-за отсутствия суверенных ресурсных возможностей блокировки социальных, экономических и прочих вызванных COVID-19 процессов и проблем. По словам президента Беларуси Лукашенко А. Г., "...от безработицы умрёт больше человек, чем от коронавируса". Единственным выходом из данной ситуации для получения необходимых ресурсов было обращение к странам-донорам и к глобальным структурам, которое привело к росту влияния внешних сил на общественные процессы и далее к уменьшению национального суверенитета. Впоследствии в Беларуси и в Бразилии на фоне распространения COVID-19 возникли политические кризисы, нанешие урон многим сферам жизни этих стран.

Обусловленные COVID-19 медицинские исследования направлены на:

- изучение самого вируса и его влияния на организм человека;
- разработку методов диагностирования заболевания и факта выздоровления;
- разработку протоколов лечения;
- качественное прогнозирование темпов распространения заболевания;
- разработку средств для снижения вероятности заражения;
- разработку систем управления для понижения вероятности заражения.

По мере продвижения и решения обозначенных задач возник новый тренд исследований — разработка вакцины от COVID-19. Основная часть задач, которую следует решить в ходе исследований, во многом упирается в выявление и анализ штаммов вируса. Так, первые три пункта приведенного списка и разработка вакцины невозможны без тщательного анализа как ДНК больных, так и РНК самого вируса (которые пока все еще не изучены).

Построенная на принудительном сотрудничестве новая (обусловленная COVID-19 и наличием явных удерживающих власть в обществе лидеров, обладающих достаточными для противодействия вызовам времени ресурсами) экономика, видимо, будет основана на формировании унифицированных целей, достигаемых совместными усилиями (так называемая *новая нормальность*, подразумевающая отказ от прежних принципов организации общества). Поскольку описанная СУЗ подразумевает замкнутое циклическое управление социоэкономическими решениями (т. е. как бы *в рамках кор-*

*порации орденового типа*), то при сохранении текущих тенденций ее дальнейшее развитие приведет к новому цифровому средневековью [20, 21]. Здесь роль самовластных феодалов и групп разбойников, нарушающих ресурсную логику, будут играть хаотизированные территории киберпанка, волонтеризм в законодательно-правоприменительной практике властей на местном уровне, наличие зараженных (или подготавливаемых в этом) лиц и т. д.

Несомненно, что COVID-19 стал центральным звеном механизма, который начал активно менять архитектуру глобального миропорядка. Это осуществляется МВЦ через надгосударственные структуры типа ООН, ВОЗ, ЮНЕСКО и т. д. в форме введения новых требований, определения сроков их реализации, формирования государствами все новых ограничений для своих граждан. Европейцы вынуждены пересматривать свои многовековые уклад жизни и стиль поведения под *давлением сверху*. Для общества РФ (обладающего в целом европейской культурой) это привычно. Однако для традиционных обществ, таких, как китайское, следование традициям всегда было и до сих пор остается выше законодательных мер. COVID-19 — удачный повод для руководства авторитарных обществ укрепить свою власть и упрочить влияние на те слои населения, которые в меру своих социокультурных особенностей ставят идеи и принципы выше указаний и рекомендаций со стороны государства (точнее, его бюрократии).

*Изменения приходят и из глубин общества*, поскольку опасность COVID-19 серьезно (но без истерии, как в СМИ) воспринята на бытовом уровне. Иногда она имеет и национальный характер. Так, в Японии люди стали массово носить маски еще до введения правительством каких-либо мер по борьбе с COVID-19. До пандемии в Японии уже было принято носить медицинскую маску в общественном месте, хотя это не было массовым явлением. Также в Японии работодатели начали отправлять своих сотрудников на удаленный режим работы еще до того, как это стало требованием правительства.

Требуется понимать, что большинство отмеченных факторов (трендов) создается через расширение эпидемии COVID-19 или в процессе борьбы с ней. Основными из них являются экономический, миграционный и политический факторы. Общемировая остановка экономики на несколько месяцев (для сжигания необеспеченной товарами денежной массы) повлияла на показатели как международной, так и национальных экономик. Пока почти все страны еще

упорно соблюдают ряд карантинных мер, в той или иной степени бьющих по их экономикам.

По состоянию на четвертый квартал 2021 г. некоторые страны сохраняют или ужесточают строгие правила пересечения границы. В одних странах правительства заявляют об острой нехватке мигрантов как рабочей силы (например, в РФ). Другие страны (например, США), наоборот, испытывают наплыв мигрантов, бегущих из своих еще более обедневших от COVID-19 стран. Ярким примером радикальных ограничений передвижения является Япония, где долго действовал полный карантинный запрет на пересечение границы (японцы не могли вернуться в родную страну, а иностранцы — ее покинуть).

Подобный ход развития событий усиливает разрыв связей между различными людьми внутри социума. Самое яркое деление (стигматизация) уже происходит по факту привит/не привит от COVID-19. При этом даже в европейском обществе у некоторых людей есть опасения в отношении переболевших, а в традиционных обществах ситуация еще хуже. Так, например, в китайской и индийской культуре люди без частей тела или с тяжелыми неизлечимыми болезнями считаются неполноценными. Несмотря на отсутствие у человека каких-либо внешних и видимых внутренних изменений он в один миг может стать изгоем и потерять привычный статус среди своего окружения. Если человек имеет сформировавшийся круг общения, привык к своей работе, ходит отдыхать в одно и то же заведение с одними и теми же людьми и вдруг все знакомые от него отворачиваются, человек фактически теряет дом, работу, место отдыха (причем еще и в философско-метафизическом смысле) [22—25]. Подобное отношение было широко распространено в Средние Века как защитная реакция социума на болезни, которые потенциально могут убить значительную его часть.

Возможно (с подачи СМИ), такой средневековый подход возродится в европейских странах (и так медленно сползающих в неосредневековье, в ориентализм и в киберпанк), причем в традиционалистских обществах такого сползания не будет, а будет просто единовременный обвал фасадов "цивилизованности" с их архаичных основ [21,26]. Это только один из факторов, способных внести раскол в некогда сплоченное на основе "общечеловеческих ценностей" общество. Правительства пытаются купировать последствия COVID-19, но, к сожалению, все эти меры болезненно отражаются на людях и сокращают

страту среднего класса, что вполне естественно при напористом формировании сверху слоя *короткоживущих* (как в "Часе быка" И.Ефремова [27]) неокрепостных, находящихся в долговом рабстве у технологически аугментированных и генноусовершенствованных *долгоживущих* (термин И.Ефремова) неофеодалов, действия которых оправдывают неоклерикалы (роль последних играют лояльные к новой нормальности СМИ, лидеры общественного мнения, общественные организации и т. д.).

Подводя итог, необходимо отметить, что мировая экономика претерпевает так называемый экономический изоляционизм (что особенно заметно при пересечении границ). Закрепление этой ситуации для РФ — неизбежное следствие затягивания и замедления экономических реформ, создавшее угрозу безвозвратного технологического отставания ее экономики от развитых стран и утраты с таким трудом и жертвами накопленного научно-технического потенциала (многие российские показатели уже достигли критических отметок, сравнимых с уровнем 2008—2009 гг. [28]). COVID-19 показал хрупкость многих сфер человеческой жизнедеятельности и провозглашенных ранее социальных императивов, потребовал коренного изменения подходов к управлению социоэкономическими микро-, мезо- и макросистемами (начиная с их инновационных и логистических составляющих и заканчивая выбором эффективного методологического инструментария и тщательной кадровой политики при реализации принятых ранее управленческих решений по преодолению возникших негативных тенденций [29]).

Авторы полагают, что основными направлениями воздействия (как государственного, так и глобального уровня) на ткань экономики должны стать направленное стимулирование *активного населения* за счет реализации инвестиционных и инновационных проектов с высоким мультипликативным эффектом, специальных программ для предприятий малого (включая микропредприятия) и среднего бизнеса, оказания адресной финансовой помощи наиболее нуждающимся (*но не люмпенизированным*) группам населения (что должно подстегнуть спрос на приобретение товаров и услуг на региональном потребительском рынке). Альтернативой предлагаемым мерам может стать новая глобальная цифровая редакция Средних Веков в жестком киберпанковском антураже (как вариант — в стиле вселенной Warhammer 40000).



## ЛИТЕРАТУРА

1. **Пителинский К. В.** Динамика изменений техносферы, биосферы и ноосферы Земли: некоторые результаты применения инновационных технологий // Вестник МИЛ. 2014. № 2. С. 126—130.
2. **Ильина Н. И.** Аллергопатология в различных регионах России по результатам клинико-эпидемиологических исследований: дисс. д-ра мед. наук. — М., 1996. С. 81—85.
3. **Шевлюк И. М.** Распространенность поллиноза у детей школьного возраста в Санкт-Петербурге. Результаты эпидемиологического исследования // Аллергология. 2001. №2. С.44—46.
4. **Asher M. I., Montefort S., Bjorksten B. et al.** ISAAC Phase Three Study Group. Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys // Lancet. 2006. № 368. P. 733—743.
5. Starlink. en.wikipedia.org [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink> (дата обращения: 22.12.2021).
6. Как работает спутниковый Интернет Starlink от Илона Маска iphones.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iphones.ru/iNotes/kak-rabotaet-internet-ilona-maski> (дата обращения: 22.12.2021).
7. Орынкенефти. rosstat.gov.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RPS2JsXD/oil-dec.pdf> (дата обращения: 22.12.2021).
8. Механизмы реагирования на угрозы макроэкономической стабильности в условиях глобального экономического кризиса, вызванного пандемией: аналит. доклад. — М., 2020. С. 18.
9. **Строков А. А.** Цифровизация образования: проблемы и перспективы // Вестник Мининского университета. 2020. Т.8. №2. С. 15.
10. Статистика роста популярности видеочатов и сервисов видеосвязи за 2020 год. cnews.ru [Электронный ресурс]. URL: [https://www.cnews.ru/news/line/2021-02-09\\_statistika\\_rosta\\_populyarnosti](https://www.cnews.ru/news/line/2021-02-09_statistika_rosta_populyarnosti) (дата обращения: 20.12.2021).
11. Информационная безопасность в условиях пандемии COVID-19. russiancouncil.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/informatsionnaya-bezopasnost-v-usloviyakh-pandemii-covid-19/> (дата обращения: 20.12.2021).
12. Средняя стоимость смартфона в России в первом полугодии 2021. habr.com [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/news/t/567234/> (дата обращения: 20.12.2021).
13. Продажи веб-камер в России продолжают расти, а следом растут и цены. 3dnews.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://3dnews.ru/1046239/prodagi-vebkamer-v-rossii-prodolgayut-rasti-a-sledom-rastut-i-tseni> (дата обращения: 20.12.2021).
14. **Букейханов Н. Р., Гвоздкова С. И., Бутримова Е. В.** Оценка эффективности цифровых технологий в условиях COVID-19 // Российские регионы: взгляд в будущее. 2020. Т. 7. № 2. С. 62—75.
15. **Кутырев В. А.** О судьбе управления и права в цифровом обществе // Вестник Нижегородской академии МВД России. 2019. № 1(45). С. 278—281.
16. ID2020 | Digital Identity Alliance. id2020.org [Электронный ресурс]. URL: <https://id2020.org/> (дата обращения: 20.12.2021).
17. Trend Deck 2021: Technology. gov.uk [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/trend-deck-2021-technology/trend-deck-2021-technology> (дата обращения: 20.12.2021).
18. Convergence of technology in government. deloitte.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/public-sector/convergence-of-technology-in-government.html> (дата обращения: 20.12.2021).
19. Технологии big data: как анализируют большие данные, чтобы получить максимум прибыли. mcs.mail.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.mail.ru/blog/tekhnologii-big-data-kak-analiziruyut-bolshie-dannye> (дата обращения: 22.12.2021).
20. **Пителинский К. В.** Инновационные и информационные технологии как средства захвата и удержания власти // Вестник МИЛ. 2014. №2. С. 131—135.
21. **Пителинский К. В.** Цифровое средневековье, Интернет вещей и 3D-технологии // Вестник московской международной академии. 2017. № 2/2016—1/2017. С. 264—269.
22. **Лапшина А. М., Анохина М. Е.** Стратегии трансформации бизнеса в условиях пандемии COVID-19 // Стратегии бизнеса. 2020. Т. 8. № 9. С. 242—245.
23. **Казанцев А. А.** Влияние пандемии коронавируса на цепи поставок // Вопросы студенческой науки. 2020. № 6(46). С. 48—52.
24. **Соколова А. А.** Эпидемия коронавируса как форс-мажор в международных перевозках // Океанский менеджмент. 2020. № 1(6). С. 4—6.
25. **Журавлева О. В.** Система товародвижения в условиях пандемии // Вестник науки и образования. 2020. № 12—2(90). С. 37—40.

26. **Пителинский К. В.** Социоэкономические аспекты управления — архаизация общества через его виртуализацию // Вестник московского института лингвистики. 2014. № 2/2013—1/2014. С. 106—111.
27. **Ефремов И. А.** Час быка. — С-Пб.: Петроглиф, 2014. — 542 с.
28. **Громыко А. А.** Коронавирус как фактор мировой политики // Научно-аналитический вестник Института Европы РАН. 2020. № 2(14). С. 5—13.
29. **Shafi Mohsin, Liu Junrong, Ren Wenju.** Impact of COVID-19 Pandemic on Micro, Small, and Medium-Sized Enterprises operating in Pakistan. Research in Globalization. 100018. 10.1016/j.resglo.2020.100018.

## **PATTERN COVID-19: THE IMPACT OF INNOVATIVE AND INFORMATION TECHNOLOGIES ON THE FORMATION OF THE DIGITAL DARK AGES**

*K. V. Pitelinskiy, M. P. Sigida, S. O. Makovey*  
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

*An analysis of current trends in the implementation of effective socioeconomic solutions and their development under the influence of COVID-19 is carried out. The prospects of using innovative and telecommunication technologies, robotics, big data processing methods and knowledge management methods in the formation and management of global economic clusters are noted. The problem of a project-based increase in the gap in the level of socioeconomic opportunities in the context of COVID-19 for various groups of the population (in the context of their social role and the availability of social benefits during the transition of society to the digital Dark Ages) is considered.*

*Keywords:* COVID-19, economics, knowledge management, digital Dark Ages, neo-feudalism, technosphere, noosphere, big data, innovations, robotics, trends.

Bibliography — 29 references.

*Received February 11, 2022*

УДК 685.5.011.56

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_21

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И СОГЛАСОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

В. Ф. Волков, д-р воен. наук; Д. А. Мосин, канд. техн. наук;

А. С. Пономарев, канд. воен. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

*Рассмотрена задача определения рационального сочетания процедур применения значимых инфраструктурных объектов и процедур дистанционного подтверждения целевого эффекта. Предложен подход, основанный на вычислении гарантируемой вероятности выполнения задачи и реализации рекуррентных выражений ретроспективной развертки для различных типов управления.*

*Ключевые слова:* гарантированная вероятность, эффективность применения, многоэтапная оптимизация, рекуррентные выражения, клиентский риск.

В связи с усложнением задач информационной безопасности обостряется проблема обеспечения безопасности функционирования значимых инфраструктурных объектов (ЗИО). Данное обстоятельство усиливается парадигмой внедрения элементов искусственного интеллекта во все сферы деятельности. Подходы к решению данной проблемы на концептуальном уровне разработаны: сформированы основные направления государственной политики в области безопасности автоматизированных систем управления (АСУ) производственными и технологическими процессами на инфраструктурных объектах РФ [1]; создана государственная система обнаружения и предупреждения компьютерных атак; разработан Реестр отечественного программного обеспечения; Роскомнадзор приступил к составлению административных протоколов за отказ компаний подключаться к национальной системе доменных имен в рамках Закона о "суверенном рунете"; государством поддерживаются

предприятия по выпуску чипов с топологией 130—90 нм. Таким образом, становятся актуальными задачи разработки более детальных методик и алгоритмов, входящих в состав научно-методического аппарата обеспечения требуемой информационно-технической защищенности ЗИО и повышения результативности функционирования ЗИО.

### Постановка задачи

Реализуемая в рамках национального проекта цифровизации экономики программа обеспечения ЗИО предусматривает разработку соответствующего математического обеспечения. Анализ работ в данной предметной области [2—5] показал, что вопросы оптимизации структурно-параметрических характеристик процессов нейтрализации деструктивных воздействий на элементы контроля функционирования АСУ ЗИО не рассматривались. Для дистанционно управляемых объектов инфраструктуры на этапе планирования подготовки ЗИО к применению одной из первостепенных задач является обоснование требований к параметрам подсистемы предупреждения о несанкционированном использовании ЗИО и процедур восстановления с учетом временных задержек на оперативное парирование инцидентов [6—8]. На этапе планирования целевого применения ЗИО важнейшей задачей является обоснование согласованного сочетания процедур непосредственного применения ЗИО и процедур дистанционного подтверждения целевого эффекта, так как ориентация на критерий повышения достоверности информации о результате (увеличение числа

**Волков Валерий Федорович**, профессор кафедры "Системный анализ и математическое обеспечение АСУ (войсками)".

E-mail: vka@mil.ru

**Мосин Дмитрий Александрович**, начальник кафедры "Системный анализ и математическое обеспечение АСУ (войсками)".

E-mail: vka@mil.ru

**Пономарев Александр Сергеевич**, преподаватель кафедры "Системный анализ и математическое обеспечение АСУ (войсками)".

E-mail: vka@mil.ru

*Статья поступила в редакцию 20 января 2022 г.*

© Волков В. Ф., Мосин Д. А., Пономарев А. С., 2022

проверок) находится в противоречии с ориентацией на критерий снижения затрат ресурсов (повышение вероятности выполнения задачи за счет повторных включений; кроме того, каждое новое включение создает предпосылки для обнаружения и хищения технологии, являющейся интеллектуальной собственностью).

### Вероятностный анализ процесса подготовки ЗИО к использованию по назначению

Рассмотрим одноэтапный процесс функционирования ЗИО, включающий стадию подготовки и стадию непосредственного применения по назначению. Введем следующие обозначения:

- $t_0$  и  $t_1^*$  — моменты начала и окончания прогнозируемого интервала функционирования ЗИО;
- $\Delta t_1^*$  — продолжительность непосредственного целевого использования ЗИО;
- $t_1$  — момент окончания стадии подготовки, т. е.  $t_1 + \Delta t_1^* = t_1^*$ ;
- $\tau$  — момент информационно-технического воздействия на ЗИО;
- $t_y$  — момент окончания работ по устранению последствий несанкционированного доступа и последствий информационно-технического воздействия (ИТВ);
- $\Delta t_y$  — продолжительность работ по восстановлению ЗИО,  $\Delta t_y = t_y - \tau$ , т. е.  $\tau + \Delta t_y$  — момент восстановления временной потери технической готовности;
- $\beta$  — вероятность ошибки 1-го рода, совершаемой при удаленном мониторинге состояния ЗИО ("пропуск" ИТВ и последующий срыв выполнения задач);
- $\alpha$  — вероятность ошибки 2-го рода, совершаемой при удаленном мониторинге состояния ЗИО (риск "ложной тревоги" и поиска результатов не имевшего места ИТВ, риск потери времени на обработку инцидентов безопасности и другие перестраховочные мероприятия);
- $P_{\text{ИД}}$  — вероятность безошибочного функционирования подсистемы обнаружения несанкционированного воздействия и обеспечения санкционированного целевого применения ЗИО (определяется методами теории надежности с учетом дрейфа и скач-

кообразных отклонений параметров, вызываемых различного рода поломками, обрывами, замыканиями, заклиниваниями и эксплуатационными перегрузками);

$P_{\text{ЦЭ}}$  — вероятность достижения непосредственного целевого эффекта при штатном функционировании ЗИО.

Вероятность выполнения целевой задачи объектом инфраструктуры определяется по формуле

$$P_{\text{ДЦ}} = (1 - \alpha)(1 - \beta)P_{\text{ИД}}P[\tau < (t_1 - t_y)]P_{\text{ЦЭ}}. \quad (1)$$

Так как момент  $t_y$  является случайной величиной, распределенной по некоторому закону (определяется путем моделирования внешнего воздействия, обработки статистической информации об инцидентах воздействия на ЗИО, а также привлечением мнений экспертов) [5, 6, 8, 9], величина  $P_{\text{ДЦ}}$  как функция случайного элемента также является случайной. Следовательно, для принятия объективного решения об эффективности организации процесса информационного функционирования ЗИО необходимо использовать дополнительный показатель — гарантируемую вероятность  $W$  успешной реализации стадии подготовки ЗИО. Этот показатель, введение которого обусловлено необходимостью выполнения принципа рандомизации [10], рассчитываем по формуле

$$W = P(P_{\text{ДЦ}} \geq P^{\text{ТТЗ}}), \quad (2)$$

где  $P^{\text{ТТЗ}}$  — нормативное значение вероятности успешной реализации стадии подготовки (задаётся в руководящих документах [11]).

Для расчета гарантируемой вероятности необходимо найти функциональную связь  $P_{\text{ДЦ}} = \mathcal{H}(t_y)$  величин  $P_{\text{ДЦ}}$  и  $t_y$ . Преобразуем выражение для расчета  $P_{\text{ДЦ}}$ :

$$P_{\text{ДЦ}} = kP[\tau < (t_1 - t_y)], \quad (3)$$

где  $k = (1 - \alpha)(1 - \beta)P_{\text{ИД}}P_{\text{ЦЭ}}$ .

Из выражения (3) следует, что зависимость  $P_{\text{ДЦ}} = \mathcal{H}(t_y)$  определяется как преобразованная (путем домножения на коэффициент  $k$  и смещения аргумента "влево" на величину  $t_y$ ) функция распределения величины  $\tau$ , график которой представляет собой обратную деформированную логистическую кривую (рис. 1).

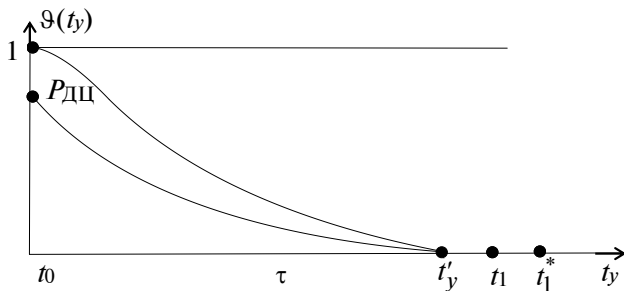


Рис. 1. Зависимость вероятности  $P_{ДЦ}$  от параметра  $t_y$

Конкретные аналитические выражения определяются комбинацией законов распределения величин  $\tau$  и  $t_y$ . При этом в алгебраических преобразованиях целесообразно учитывать монотонный характер в зависимости  $P_{ДЦ} = \vartheta(t_y)$ , которая является непрерывной, дважды дифференцируемой функцией. Рассмотрим пример.

Пусть:

- величина  $\tau$  распределена по смещенному показательному закону  $F_\tau(z) = 1 - e^{(-v)(z-c)}$  с параметрами  $v = 1$ ;  $c = 0, 2$ ;

- величина  $T = t_1 - t_y$  распределена по смещенному показательному закону  $F_T(g) = 1 - e^{(-\mu)(g-d)}$  с параметрами  $\mu = 0, 5$ ;  $d = 1$ .

После алгебраических преобразований (расчет величины  $P(\tau < T)$  и поправка на коэффициент  $k = 0, 8$ ) получаем  $W = P(P_{ДЦ} \geq P^{ТГЗ}) = 0, 596$  при уровне гарантии  $\gamma = P^{ТГЗ} = 0, 9$ .

В более общих вариантах (использование распределения Вейбула и  $\beta$ -распределения в табличных форматах) гарантируемая вероятность определяется методами теории стохастической индикации [4, 12].

### Формализация целевого применения ЗИО на основе марковской модели

На этапе планирования целевого применения ЗИО необходимо установить рациональное соотношение между процедурами непосредственного применения ЗИО и процедурами дистанционного подтверждения целевого эффекта, т. к. стоимость последних может быть сопоставима с затратами на основные технологические операции. Рассмотрим целевое функционирование ЗИО как процесс переходов системы "ЗИО—потребитель" из начального состояния в промежуточное или целевое.

Введем следующие обозначения:

$v$  — вероятность реализации одношаговой операции целевого использования (ЦИ) исследуемого объекта критической инфраструктуры;

$m$  — номер попытки проведения операции ЦИ ЗИО,  $m = 1, \dots, M$ ;

$c_m$  — стоимость ресурса, расходуемого на одну операцию (попытку);

$r$  — расход ресурсов контроля состояния обслуживаемого потребителя;

$z_r$  — стоимость мероприятий по проведению контроля выполнения плана работы ЗИО;

$Q$  — показатель выходного эффекта (результат функционирования ЗИО, фактический доход, предотвращенный ущерб и т. п.);

$t_{\text{треб}}$  — требуемая (плановая) продолжительность ЦИ объекта инфраструктуры;

$t_z$  — фактическая продолжительность ЦИ объекта инфраструктуры;

$P_{\text{треб}}$  — требуемая вероятность выполнения целевой задачи.

Суть вероятностной модели процесса, включающего технико-технологические действия и процедуры контроля факта их выполнения, рассмотрим на примере операции, для которой предусмотрено  $M = 3$ .

Проанализируем возможные исходы функционирования ЗИО.

- Успешный вариант:  $m = 1$ ;  $z = 1$ ;  $t_z = t_1 + t_{p1}$ , где  $i$  — продолжительность  $i$ -й "попытки";  $t_{pj}$  — продолжительность  $j$ -й операции контроля (в данном варианте  $i = 1$ ,  $j = 1$ ).

- Успех с двух попыток:  $m = 2$ ;  $z = 2$ ;  $t_z = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_{p2}$ .

- Успех с трех попыток:  $m = 3$ ;  $z = 3$ ;  $t_z = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_{p2} + t_3 + t_{p3}$ .

- Отрицательный исход. Он требует подготовки и проведения новых мероприятий. Соответственно будет иметь место существенный перерасход средств, нацеленных на ликвидацию отставания в выполнении задач более высокого уровня. Потребуется время на поиск источника финансирования компенсации ущерба и на возобновление операции.

- Изменение концепции контроля:  $m = 3$ ;  $z = 2$ ;  $t_z = t_1 + t_{p1} + t_2 + t_3 + t_{p3}$  дополнительный расход ресурса без детального уточнения результата второй попытки (установка высших органов управления — ускорить выполнение целевой задачи за счет дополнительных затрат ресурсов и форсирования вспомогательных операций),  $\dots, V_{n+1}, \dots, M$ .

- Целевая задача не выполнена. Все участники процесса получают существенный ущерб

(в ущерб заказчика необходимо включить упущенную прибыль, ожидание дохода и т. п., в ущерб исполнителя — штрафы).

Первый вариант является идеальным. Задача оптимизации управления вырождается при условии такого формата требований по оперативности, при котором обеспечивается выполнение неравенства  $P(t_{\Sigma} < t^{\text{треб}}) \geq P^{\text{треб}}$ . Кроме перечисленных, возможны и другие варианты, обусловленные психологическими установками ЛПР (принцип гарантированного результата, вариации риск-ориентированного подхода и т. д.). Каждому варианту должен соответствовать свой адекватный “линейный” способ управления, но стохастический характер возникновения вариантов обуславливает необходимость разработки не детерминированного “прямого” плана, а алгоритма адаптивного управления, определяемого исходом каждой попытки. Таким образом, стадию непосредственного выполнения целевой задачи можно интерпретировать как марковский процесс многоэтапного перехода системы из начального состояния в конечное, соответствующее достижению цели имеющимся ресурсом в заданный срок. Алгоритм оптимизации, основанный на решении прямой задачи теории марковских цепей, был предложен в работе [13]. Рассмотрим алгоритм, основанный на составлении и решении функциональных рекуррентных уравнений. Через  $A^{(j)}$  будем обозначать состояние системы, соответствующее проведению  $j$  неуспешных попыток,  $j = 0(1)(M-1)$ , через  $A^{(M)}$  — конечное состояние. Примем допущение, что при разработке концепции оптимизации данного процесса установлены три типа управляющих воздействий для каждого этапа:  $B^{(1)}$  — мероприятия по достижению цели проводятся без последующей процедуры контроля на очередном технико-технологическом шаге;  $B^{(2)}$  — после каждого мероприятия проводится контроль факта соответствия результатов внедрения установленным требованиям;  $B^{(3)}$  — проведение целевых мероприятий и операций их контроля прекращается.

Оптимизация на любом  $n$ -м этапе ( $n = 2, \dots, M-1$ ) должна проводиться по правилу максимизации суммы двух слагаемых (выигрышей), осреднённой по вероятностям, относящимся к текущему и объединённым в один оставшимся этапам (для каждого типа управления). Получим выражения, необходимые для расчета выигрышей. Если результат  $(n-1)$ -го этапа — состояние  $A^{(M)}$ , то необходимым управляющим воздействием является  $B^{(3)}$ , т. е. выигрыш на всех оставшихся этапах равен нулю. Если результат  $(n-1)$ -го

этапа — состояние  $A^{(j)}$   $j = 0(1)(n-1)$ , то при управлении  $B^{(1)}$  выигрыш рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} & \bar{V}_n(A^{(j)}, B^{(1)}) + \bar{V}_{(n+1)}, \dots, M(A^{(j)}, B^{(1)}) = \\ & = Q(1 - v)^j * v - c_m + \bar{V}_{n+1}, \dots, M(A^{(j+1)}). \end{aligned}$$

При управлении  $B^{(2)}$  в этой же ситуации расчетные формулы должны включать средний выигрыш  $\bar{V}_n$  на рассматриваемом этапе и дважды осредненный максимальный выигрыш на оставшихся этапах, включая  $(n+1)$ -й.

Рассмотрим реализацию алгоритма на примере дистанционного управления и контроля перевода в требуемый режим системы активных подвижных объектов (АПО), процесс функционирования которых включает операции по энергетическому, материальному и информационному обмену с потребителями, с другими АПО и с пунктами управления [9, 12]. Для оценочных расчетов будем использовать следующие гипотетические исходные данные (в относительных единицах):  $M = 6$ ;  $v = 0,3$ ;  $c_m = 1$ ;  $z_r = 0,4$ ;  $Q = 8$ . В соответствии с логикой многоэтапной оптимизации на конечном числе шагов реализацию алгоритма проактивного управления начинаем с шестого этапа. После вычислений на 6-м и последующих этапах получаем рациональную комбинацию для каждого исхода каждого этапа (рис. 2):

$$\begin{aligned} K_6^* &: K^{(1)} \rightarrow K^{(1)} \rightarrow K^{(1)} \rightarrow K^{(3)} \rightarrow K^{(3)} \rightarrow K^{(3)}; \\ K_5^* &: K^{(1)} \rightarrow K^{(2)} \rightarrow K^{(2)} \rightarrow K^{(3)} \rightarrow K^{(3)}; \\ K_4^* &: K^{(2)} \rightarrow K^{(2)} \rightarrow K^{(2)} \rightarrow K^{(3)}; \\ K_3^* &: K^{(2)} \rightarrow K^{(2)} \rightarrow K^{(2)}; \quad K_2^* : K^{(1)} \rightarrow K^{(2)}; \\ K_1^* &: K^{(1)}. \end{aligned}$$

При этом максимальный выигрыш составит  $V^* = 3,03$ .

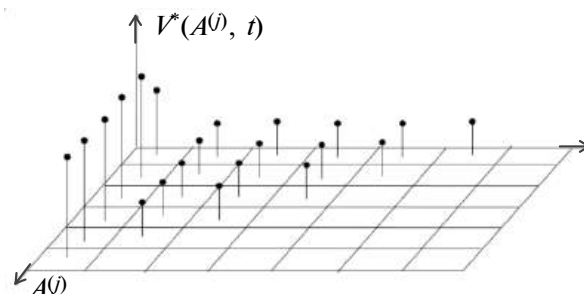


Рис. 2. Рациональные комбинации для различных исходов этапов

Следует отметить, что при направленном переборе массива сочетаний исходных данных



(ИД) предлагаемый алгоритм дает возможность проанализировать влияние различных факторов, входящих в состав комплекса ИД, на степень приближения показателя результативности  $V^*$  к исходному значению  $Q$  (через комбинирование соотношений между величинами  $M$ ,  $v$ ,  $c_m$ ,  $z_r$ ,  $Q$ ). Например, результаты оптимизационных расчетов кардинально меняются:  $V^* = 5,98$  для варианта  $v = 0,6$  (целевая аппаратура надежнее);  $c_m = 1$ ;  $z_r = 0,2$  (аппаратура контроля дешевле);  $V^* = 21,67$  для варианта  $v = 0,9$  (целевая аппаратура надежнее);  $c_m = 2$  (задействуемые ресурсы дороже);  $z_r = 1$  (аппаратура контроля дороже).

#### Учет временных факторов и рисков заказчика (исполнителя)

В работах по внешнему проектированию целенаправленных процессов и целеустремленных систем [11, 12] обосновано, что при расчете вероятности достижения цели необходимо учитывать не только показатель результативности (вычисление, рассмотренное ранее), но и показатель оперативности (вероятность того, что исследуемый процесс "уложится" в заданный срок) и показатель ресурсозатратности (вероятность того, что расход ресурсов при реализации процесса "уложится" в имеющиеся лимиты). При определении условного закона распределения временных затрат необходимо учитывать различные технологические ограничения на вероятность проведения как технико-технологических мероприятий, так и процедур контроля (циклограммы функционирования АПО имеют несовпадающие временные разрывы от единиц часов до десятков суток). При определении условного закона распределения расхода ресурсов необходимо учитывать, что для многих цифровых систем контроль факта выполнения задачи может быть проведен только инерционно, по косвенным признакам, измеряемым с ошибками различной природы. Следовательно, как отмечалось ранее, даже при накоплении большого объема априорной статистической информации и информации, полученной по результатам моделирования (тренажерно-математического), будут иметь место ошибка 1-го рода (принятие ошибочного решения о неудачно проведенной технологической процедуре при фактически штатном проведении целевого действия) и ошибка 2-го рода (принятие ошибочного решения о достоверном распознавании требуемого состояния обслуживаемого объекта при его нахождении в нежелательном состоянии). Риск  $\alpha$  организации-заказчика (ОЗ) и риск  $\beta$  организации-исполнителя (ОИ) определяются через

законы распределения результатов измерений ключевых параметров и законы распределения статистической информации о погрешностях измерений. Информационное обеспечение реализуемости разработанных алгоритмов должно быть направлено на снижение доли используемых внешних цифровых разработок с учетом санкционных ограничений.

Таким образом, при перерасчете обобщенного выигрыша необходимо учитывать потенциальный ущерб  $Y_f^{\text{зак}}$  заказчика и дополнительные расходы  $Y_f^{\text{ис}}$  исполнителя по формуле  $\beta_f Y_f^{\text{зак}} + \alpha Y_f^{\text{ис}}$ , где  $f$  — номер этапа жизненного цикла ЗИО (с ростом  $f$  величины  $Y_f^{\text{зак}}$ ,  $Y_f^{\text{ис}}$  возрастают). Кроме того, при привлечении к работам коммерческих организаций-исполнителей в формулах для расчета выигрышей вместо нуля в сомножитель второго слагаемого должна быть подставлена величина штрафа за неподлежащее исполнению соответствующего договора.

В общем случае при недопустимости ряда принятых упрощений в комплексе ИД поиск оптимальных способов согласования целевых операций и контролирующих процедур необходимо осуществлять в рамках имитационного моделирования, например методом Монте-Карло, алгоритм которого будет адекватно отображать разворачивающийся ветвящийся процесс. Так, методом статистического моделирования наиболее оперативно можно создать алгоритм, учитывающий динамику величин  $t_z$  и  $z_r$ , неизбежно возникающую при переходе от одного этапа жизненного цикла к другому (следующему).

#### Заключение

Предложен подход к обоснованию параметров ЗИО, обеспечивающих гарантированное выполнение целевых задач в заданные сроки с минимальным дополнительным инвестированием. Разработан алгоритм определения рационального соотношения между технико-технологическими процедурами и процедурами контроля. Точность оценивания прироста эффективности за счёт оптимизации в основном будет определяться степенью достоверности зависимостей, используемых при расчете затрат на обеспечение гарантированного выполнения этапов целевого использования ЗИО.

Разработанные алгоритмы протестированы на примерах и могут быть использованы [12, 14] в ходе административно-научного сопровождения разработки ЗИО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 26.07.2017 г. № 187-ФЗ "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" // СПС "Консультант Плюс". Оpubл. 26.07.2017 на официальном интернет-портале правовой информации. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220885](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885)
2. Разумовский В. А. Типовой алгоритм идентификации критических промышленных технологий // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 1(141). С. 62—70.
3. Офицеров А. И., Басов О. О., Бачурин С. С. Концептуальные основы обеспечения комплексной безопасности критически важных объектов // Экономика. Информатика. 2020. № 47(1). С. 154—163.
4. Петренко С. А., Ступин Д. Д. Национальная система предупреждения о компьютерном нападении. — Иннополис: ИД "Афина", 2018. — 448 с.
5. Иванов В. Л., Меньшиков В. А. и др. Система автоматизированного контроля состояния потенциально опасных объектов Российской Федерации в интересах обеспечения защиты от техногенных, природных и террористических угроз. Патент 02296421 РФ, МПК H04B 7/185. Бюлл. № 23 (II ч.). Оpubл. 27.03.2007. — 30 с.
6. Саенко И. Б., Ясинский С. А. Нейросетевая модель диагностирования компьютерных инцидентов на объектах критической информационной инфраструктуры // Информация и космос. 2019. № 3. С. 77—85.
7. Мальцев Г. Н., Матвеев С. Н. Исследование защищенности системы командного радиоуправления подвижным объектом с использованием марковской модели преодоления нарушителем многоуровневой системы защиты информации // Труды ВКА имени А. Ф. Можайского. 2021. № 677. С. 153—164.
8. Кузнецов Ю. В. Теоретические основы обеспечения информационной безопасности робототехнических комплексов // Военная мысль. 2018. № 12. С. 71—78.
9. Кочетков М. П., Корольков Д. Н. Применение кластерного анализа с элементами нечеткой логики для оценки окружающей обстановки группы робототехнических средств // Труды СПИИРАН. 2020. № 4(19). С. 746—774.
10. Волков В. Ф. Метод последовательных экспертных переоценок и его применение в задачах управления разработкой ПОС // Электронное моделирование. 1994. № 1. С. 56—66.
11. Пьянков В. В., Карулин В. П. Формирование состава научно-технических проектов при планировании общесистемных исследований проблем развития ОПК в условиях ресурсных ограничений // Изв. РАН. 2019. № 3 (108). С. 20—29.
12. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.
13. Андреев В. Н., Волков В. Ф., Иоффе А. Я. Анализ оптимальных решений в марковских процессах с доходами // Вопросы кибернетики. 1981. Вып. 74. С. 33—42.
14. Агеев А. И., Буренок В. Н., Турко Н. И. Перспективы военно-гражданской интеграции // Национальная безопасность. 2017. № 3. С. 30—39.

## METHODICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING PARAMETERS OF SIGNIFICANT INFRASTRUCTURE OBJECTS REMOTE CONTROL AND CONSISTENT APPLICATION

V. F. Volkov, D. A. Mosin, A. S. Ponomarev

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

*It is seemed the task of determination the rational combination of significant infrastructure objects application procedures and target effect remote confirmation procedures. It is suggested approach based on calculating the guaranteed probability of completing a task and implementing flashback recurrent expressions for different types of control.*

**Keywords:** guaranteed probability, effectiveness of application, multi-stage optimization, recurrent expressions, customer risk.

Bibliography — 14 references.

Received January 20, 2022

УДК 534.014.3

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_27

# ИНЕРЦИОННАЯ, ДИССИПАТИВНАЯ И ДРУГИЕ ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

И. П. Попов

Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

Проведена детализация видов механической мощности при гармонических колебаниях. Показано, что при механических колебаниях развиваются не только знакоположительная тепловая мощность, но и знакопеременные реактивные мощности, характеризующие обратимость кинетической и потенциальной энергий. Под активной мощностью понимается среднее за полпериода значение мгновенной мощности, а под реактивной — амплитудное значение. Полная механическая мощность, с одной стороны, описывается формулой Пифагора, а с другой — равна произведению действующих значений гармонических величин. Особенностью комплексного представления является то, что при вычислении полной мощности один из перемножаемых векторов должен быть сопряженным.

**Ключевые слова:** механическая мощность, кинетическая энергия, потенциальная энергия, комплексное представление, векторное представление.

Механическая энергия бывает обратимой (потенциальная и кинетическая), а также необратимой (например, тепловая при трении). В качестве механической мощности принято рассматривать временную производную от последней. В силу необратимости тепловой энергии ее производная принимает только положительные значения.

Вместе с тем производные могут быть взяты как от потенциальной, так и от кинетической энергии. При этом наиболее интересный случай представляют гармонические колебания, при которых производные (мгновенные мощности) обязательно являются знакопеременными функциями, что принципиально отличает их от тепловой мощности [1—3].

Аналогом кинетической энергии в электротехнике является энергия магнитного поля катушки индуктивности, аналогом потенциальной — энергия электрического поля конденсатора, а аналогом механической тепловой энергии — тепловая энергия, рассеиваемая резистором.

Цель исследования состоит в детализации видов механической мощности при гармонических колебаниях.

Актуальность работы обусловлена тем, что механические колебания широко распространены

в разнообразных технологических процессах [4—7]. Поскольку приводы машин и механизмов являются преимущественно электромеханическими, механическая реактивная мощность трансформируется в электрическую реактивную мощность сети, ухудшая качество электроэнергии. В связи с этим учет механической реактивной мощности имеет немаловажное значение.

## Мощность, развиваемая при вынужденных гармонических колебаниях инертного тела

Движение тела описывается известным выражением

$$x = l \sin \omega t,$$

скорость — выражением

$$v = \dot{x} = l\omega \cos \omega t = V_m \cos \omega t.$$

Для гармонической величины действующее значение меньше амплитудного в  $\sqrt{2}$ :

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{l\omega}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Формула для силы имеет вид

$$f_a = m\ddot{x} = -lm\omega^2 \sin \omega t, \quad (2)$$

формула для силы трения имеет вид

$$f_\mu = \mu \dot{x} = \mu l\omega \cos \omega t. \quad (3)$$

**Попов Игорь Павлович**, старший преподаватель кафедры "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты".

E-mail: ip.porow@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19 января 2022 г.

© Попов И. П., 2022

Результирующая сила

$$\begin{aligned} f &= f_a + f_\mu = -l\omega^2 \sin \omega t + \mu l \omega \cos \omega t = \\ &= l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2} \left( \frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}} \cos \omega t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{m\omega}{\sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}} \sin \omega t \right). \end{aligned}$$

Можно обозначить

$$\varphi = \arctg \frac{m\omega}{\mu}. \quad (4)$$

С учетом этого

$$\begin{aligned} f &= l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2} (\cos \varphi \cos \omega t - \\ &- \sin \varphi \sin \omega t) = l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2} \cos(\omega t + \varphi). \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$F_m = l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}.$$

Действующее значение результирующей силы равно

$$F = \frac{F_m}{\sqrt{2}} = \frac{l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Мгновенная результирующая мощность составляет

$$\begin{aligned} s &= f v = l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2} \cos(\omega t + \varphi) l\omega \cos \omega t = \\ &= 0,5 l^2 \omega^2 \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2} [\cos \varphi + \cos(2\omega t + \varphi)] = \\ &= FV [\cos \varphi + \cos(2\omega t + \varphi)] = \\ &= FV [\cos \varphi + \cos(2\omega t) \cos \varphi - \sin(2\omega t) \sin \varphi] = \\ &= FV \cos \varphi [1 + \cos(2\omega t)] - FV \sin \varphi \sin(2\omega t) = \\ &= p + q_i. \end{aligned} \quad (6)$$

В электротехнике есть выражение, аналогичное (6) с заменами  $F \rightarrow U$ ,  $V \rightarrow I$ . Из него определяют активную электрическую мощность:

$$P = UI \cos \varphi.$$

Поэтому активную (тепловую) механическую мощность тоже следует определять как

$$P = FV \cos \varphi. \quad (7)$$

Очевидно, что гармонические сила и скорость совершают колебания со сдвигом фаз, равным  $\varphi$ .

Из приведенной формулы электротехники определяют реактивную электрическую мощность:

$$P = UI \sin \varphi.$$

Поэтому реактивную (инерционную) механическую мощность тоже следует определять как

$$Q_i = FV \sin \varphi. \quad (8)$$

Из формулы (6) следует, что под активной мощностью понимается среднее за полпериода значение мгновенной мощности, а под реактивной — амплитудное значение. В электротехнике все обстоит аналогичным образом.

Еще одним обобщением из электротехники является полная механическая мощность

$$S = FV = \sqrt{Q_i^2 + P^2}. \quad (9)$$

Она примечательна тем, что, с одной стороны, описывается формулой Пифагора, а с другой — равна произведению действующих значений гармонических величин.

Учитывая (1), (5) и (8), имеем

$$\begin{aligned} Q_i &= FV \sin \varphi = \\ &= \frac{l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}}{\sqrt{2}} \frac{l\omega}{\sqrt{2}} \frac{m\omega}{\sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}} = \frac{ml^2 \omega^3}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

При этом

$$\begin{aligned} f_a v &= -l\omega^2 \sin \omega t l\omega \cos \omega t = \\ &= -0,5 l^2 m \omega^3 \sin(2\omega t) = \\ &= -F_a V \sin(2\omega t) = -Q_i \sin(2\omega t) \end{aligned} \quad (11)$$

Это соответствует выражениям (6) и (10).

Учитывая (1), (5) и (7), имеем

$$\begin{aligned} P &= FV \cos \varphi = \\ &= \frac{l\omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}}{\sqrt{2}} \frac{l\omega}{\sqrt{2}} \frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}} = \frac{\mu l^2 \omega^2}{2}. \end{aligned} \quad (12)$$

При этом

$$\begin{aligned} f_{\mu} v &= \mu l \omega \cos \omega t l \omega \cos \omega t = \\ &= 0,5 \mu l^2 \omega^2 [1 + \cos(2\omega t)] = \\ &= F_{\mu} V [1 + \cos(2\omega t)] = P [1 + \cos(2\omega t)]. \end{aligned} \quad (13)$$

Это соответствует выражениям (6) и (12).  
Учитывая (9), (10) и (12), имеем

$$\begin{aligned} S &= FV = \frac{l \omega \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}}{\sqrt{2}} \frac{l \omega}{\sqrt{2}} = \\ &= \frac{l^2 \omega^2 \sqrt{\mu^2 + m^2 \omega^2}}{2}. \end{aligned}$$

### Мощность, развиваемая при упругих деформациях

Выражение для силы имеет вид

$$f_k = kx = kl \sin \omega t. \quad (14)$$

С учетом (3) результирующая сила равна

$$\begin{aligned} f &= f_k + f_{\mu} = kl \sin \omega t + \mu l \omega \cos \omega t = \\ &= l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2} \left( \frac{k}{\sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}} \sin \omega t + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\mu \omega}{\sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}} \cos \omega t \right). \end{aligned}$$

Можно обозначить

$$\varphi = \arctg \frac{k}{\mu \omega}.$$

С учетом этого

$$\begin{aligned} f &= l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2} (\sin \varphi \sin \omega t + \cos \varphi \cos \omega t) = \\ &= l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2} \cos(\omega t - \varphi). \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$F_m = l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}.$$

Действующее значение результирующей силы равно

$$F = \frac{F_m}{\sqrt{2}} = \frac{l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}}{\sqrt{2}}. \quad (15)$$

Мгновенная результирующая мощность составляет

$$\begin{aligned} s &= f v = l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2} \cos(\omega t - \varphi) l \omega \cos \omega t = \\ &= 0,5 l^2 \omega \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2} [\cos \varphi + \cos(2\omega t - \varphi)] = \\ &= FV [\cos \varphi + \cos(2\omega t - \varphi)] = \\ &= FV [\cos \varphi + \cos(2\omega t) \cos \varphi + \sin(2\omega t) \sin \varphi] = \\ &= FV \cos \varphi [1 + \cos(2\omega t)] + FV \sin \varphi \sin(2\omega t) = \\ &= P + Q_d. \end{aligned} \quad (16)$$

С учетом (6), (7) и (12) активная механическая мощность равна

$$\begin{aligned} P &= FV \cos \varphi = \\ &= \frac{l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}}{\sqrt{2}} \frac{l \omega}{\sqrt{2}} \frac{\mu \omega}{\sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}} = \frac{\mu l^2 \omega^2}{2}. \end{aligned}$$

С учетом (15), (1), (8) и (16) механическая реактивная (упругая) мощность равна

$$\begin{aligned} Q_d &= FV \sin \varphi = \\ &= \frac{l \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}}{\sqrt{2}} \frac{l \omega}{\sqrt{2}} \frac{k}{\sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}} = \frac{k l^2 \omega}{2}. \end{aligned} \quad (17)$$

При этом

$$\begin{aligned} f_k v &= kl \sin \omega t l \omega \cos \omega t = 0,5 kl^2 \omega \sin(2\omega t) = \\ &= F_k V \sin(2\omega t) = Q_d \sin(2\omega t). \end{aligned} \quad (18)$$

Это соответствует выражениям (16) и (17).  
Очевидно, что полная мощность равна

$$S = FV = \sqrt{Q_d^2 + P^2} = \frac{l^2 \omega \sqrt{k^2 + \mu^2 \omega^2}}{2}.$$

### Мощность при колебаниях, связанных с гравитационным воздействием

При отклонении на угол  $\alpha$  груза, подвешенного на нити длиной  $L$ , возникает момент

$$M = mgL\alpha.$$

Пусть  $\alpha = \alpha_0 \sin \omega t$ , тогда

$$\dot{\alpha} = \alpha_0 \omega \cos \omega t = \alpha_0 \sqrt{\frac{g}{L}} \cos \omega t.$$

Мгновенная мощность имеет вид

$$q_g = M\dot{\alpha} = mgL\alpha_0 \sin \omega t \alpha_0 \sqrt{\frac{g}{L}} \cos \omega t = \\ = 0,5m\alpha_0^2 \sqrt{Lg^3} \sin(2\omega t).$$

Ее амплитуда и, соответственно, реактивная мощность гравитационного воздействия

$$Q_g = 0,5m\alpha_0^2 \sqrt{Lg^3}.$$

#### Реактивная, активная и полная мощности в комплексном представлении

В [8–10] показано, что при инертной нагрузке

$$\dot{V}_m = V_m e^{j\pi/2}.$$

Мгновенная скорость при этом равна

$$v = V_m \cos \omega t = \text{Im } \dot{V}_m.$$

Формулы для действующих значений величин принципиально не отличаются:

$$\dot{V} = V e^{j\pi/2}; \quad \dot{F} = F e^{j(\pi/2+\varphi)}.$$

Особенностью комплексного представления, подробно описанного в электротехнике, является то, что при вычислении полной мощности один из перемножаемых векторов должен быть сопряженным:

$$\underline{S} = \dot{\underline{F}} \dot{V}^* = F e^{j(\pi/2+\varphi)} V e^{-j\pi/2} = \\ = F V e^{j(\pi/2+\varphi-\pi/2)} = \\ = F V e^{j\varphi} = F V \cos \varphi + j F V \sin \varphi = P + jQ_i.$$

Это выражение для инертной нагрузки. Отличием упругой нагрузки является то, что

реактивная мощность имеет противоположный знак:

$$\underline{S} = \dot{\underline{F}} \dot{V}^* = F e^{j(\pi/2-\varphi)} V e^{-j\pi/2} = F V e^{j(\pi/2-\varphi-\pi/2)} = \\ = F V e^{-j\varphi} = F V \cos \varphi - j F V \sin \varphi = P + jQ_d.$$

При этом

$$P = \text{Re } \dot{\underline{F}} \dot{V}^*; \quad Q = \text{Im } \dot{\underline{F}} \dot{V}^*.$$

#### Механические мощности в векторном представлении

В основе комплексного представления лежит идея вращающихся в комплексной плоскости векторов. Тот же принцип может быть реализован в трехмерном декартовом базисе.

Из (7)–(9) необходимо следует, что

$$P = (\mathbf{F}, \mathbf{V}); \\ Q = |[\mathbf{F}, \mathbf{V}]|; \\ S^2 = (\mathbf{F}, \mathbf{V})^2 + [\mathbf{F}, \mathbf{V}]^2.$$

Математическая абстракция с проекциями вращающихся векторов имеет конкретную материальную основу в виде кривошипно-кулисных механизмов.

#### Заключение

Показано, что при механических гармонических колебаниях развиваются не только знакоположительная тепловая мощность, но и знакопеременные реактивные мощности, характеризующие обратимость кинетической и потенциальной энергий.

При этом полная механическая мощность удовлетворяет формуле Пифагора.

Представление о механических реактивных, активной и полной мощностях является обобщением соответствующих понятий о мощностях из электротехники, что является проявлением электромеханического дуализма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И. П. Вынужденные колебания механических систем в установившемся режиме // Машиностроение и инженерное образование. 2019. № 4(61). С. 13–19.
2. Попов И. П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях // Прикладная физика и математика. 2019. № 4. С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828.



3. Попов И. П. Расчет механических колебаний в поле комплексных чисел // Труды МАИ. 2020. № 115. [http://mai.ru/upload/iblock/4e9/Popov\\_vol.pdf](http://mai.ru/upload/iblock/4e9/Popov_vol.pdf) DOI: 10.34759/trd-2020-115-01.
4. Попов И. П. Теоретические предпосылки создания мультиинертного осциллятора // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2020. № 1(145). С. 15—19.
5. Попов И. П. Разновидности резонансов в механике // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика. 2019. Т. 51. № 1. С. 88—85. DOI 10.18413/2075-4639-2019-51-1-88-95.
6. Попов И. П. Импедансы и адмитансы механических систем // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 5(343). С. 3—11. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11.
7. Попов И. П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов // Прикладная физика и математика. 2019. № 2. С. 37—40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599.
8. Попов И. П. О резонансе и антирезонансе // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 4. С. 45—48.
9. Попов И. П. Условно-ортогональные механические мощности // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2019. № 4(144). С. 15—17.
10. Попов И. П. Резонансы и антирезонансы в механических системах // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2021. № 2(147). С. 14—22.

## INERTIA, DISSIPATIVE AND OTHER TYPES OF MECHANICAL POWER

I. P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

*The purpose of the study is to detail the types of mechanical power for harmonic oscillations. It is shown that during mechanical vibrations, not only a sign-positive thermal power develops, but also sign-alternating reactive powers, which characterize the reversibility of the kinetic and potential energies. Active power is understood as the average value of instantaneous power over half a period, and reactive power is the amplitude value. The total mechanical power, on the one hand, is described by the Pythagorean formula, and on the other hand, it is equal to the product of the effective values of the harmonic quantities. A feature of the complex representation is that when calculating the total power, one of the multiplied vectors must be conjugate.*

*Keywords:* mechanical power, kinetic energy, potential energy, complex representation, vector representation.

Bibliography — 10 references.

*Received January 19, 2022*

УДК 621.512

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_32

## МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ "НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА"

Е. Ю. Лушпа, канд. техн. наук

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

*Представлен проект лабораторной модели "Нагнетательная машина". Исследована возможность совершенствования лабораторной установки, представлены наглядные рекомендации. Апробация предложенной методики подтверждает ее корректность и применимость для любого типа нагнетательных установок. Полученные результаты показали, что с использованием предложенной методики усовершенствована математическая модель нагнетательной установки.*

*Ключевые слова:* нагнетательная машина, методика улучшения, промышленные предприятия, гидравлика.

Многие промышленные предприятия используют гидравлические исполнительные устройства (гидромоторы, цилиндры, распределительную и регулирующую аппаратуру). Также сложно представить себе промышленное предприятие, на котором не применяют современные автоматизированные технологические комплексы, управляемые с помощью компьютеризированных систем. Применение этих комплексов обеспечивает гибкость производства, высокую производительность труда и качество готовой продукции, а также в целом увеличивает эффективность производства. Благодаря простоте и надежности работы поршневые насосы нашли широкое применение в нефтяной, газовой и нефтехимической отраслях промышленности, все основные технологические процессы которых связаны с перекачкой по трубопроводам различных жидкостей [1].

В бурении нефтяных и газовых скважин поршневые насосы нашли исключительное применение, их используют для создания циркуляции глинистого раствора или воды в скважине.

При добыче нефти поршневые насосы используются главным образом для извлечения нефти из скважины, перекачки воды и высоковязкой нефти по трубопроводам, гидравлического разрыва пластов, нагнетания воды в пласт.

Поскольку в нефтяной промышленности нет ни одного участка, где не используют насосы, дальнейшее улучшение их технико-экономических показателей остается основной проблемой нефтяной промышленности. Сохранение при работе высокого коэффициента полезного действия или полное использование установленной мощности рассматриваемых гидравлических машин является одной из важнейших задач обслуживающего персонала.

Это может быть выполнено только при хорошем знании теории и правил эксплуатации насосов.

Подготовительные работы перед испытанием двухцилиндрового насоса отличаются от перечисленных лишь тем, что не требуется устанавливать заданную частоту вращения коленчатого вала из-за отсутствия регулируемой трансмиссии. Уровень масла в приводной части насоса проверяют шупом [2]. Кроме диаметра поршня  $D_n$ , штангенциркулем замеряется диаметр штока  $d_{\text{шток}}$  (по видимой его части). Диаметр поршня определяется по внутреннему диаметру цилиндрической втулки с помощью нутромера при снятых передних крышках гидравлической коробки насоса. Далее перекрываются задвижки 6, 7, 16, 17, 19, вентили к манометру 11', мановакуумметру 10' и открываются задвижки 6', 7', 15, 18 (рис. 1).

После окончания подготовительных работ кнопкой "ПУСК" магнитного пускателя включают испытываемый насос. Убедившись в отсутствии необычного шума или стука, открывают вентили к манометру и мановакуумметру, включают киловаттметр. Не менее чем через 40 с после этого снимают показания манометра  $P_m$ , ма-

Лушпа Евгений Юрьевич, доцент, профессор кафедры РВСН ВУЦ.

E-mail: euglushpa@list.ru

Статья поступила в редакцию 10 января 2022 г.

© Лушпа Е. Ю., 2021

новакуумметра *PВ*, трехфазного киловаттметра *NМ*. По шкале пьезометра с помощью секундомера засекают время  $t$  заполнения объема  $V$  мерного бака. Одновременно визуально по видимым участкам штоков считают число двойных ходов  $n$  плунжера или поршня и по линейке определяют длину  $h$  их хода [3].

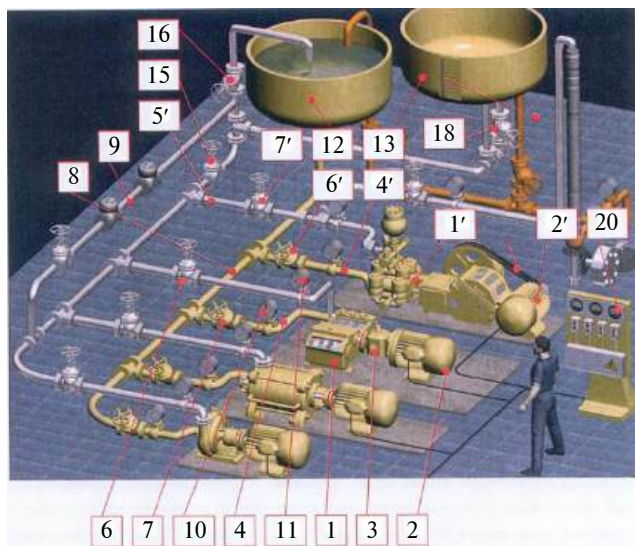


Рис. 1. Технологическая схема установки:

1 — насос; 2 — трансмиссионный вал; 3 — коробка передач;  
4 — всасывающий трубопровод; 5, 8, 9 — коллекторы;  
10, 10' — мановакуумметр; 11, 11' — манометр;  
12, 13 — водозаборные баки; 6, 6', 7, 7', 15–19 — задвижки;  
20 — магнитный пускатель

### Использование методики по совершенствованию нагнетательной машины

Меридиональная проекция колеса с радиальными лопатками представлена на рис. 2.

Гидравлический КПД  $\eta_{\Gamma}$  определяли согласно [4] по формуле

$$\eta_{\Gamma} = \frac{Hg}{u_2 c_{u3}}, \quad (1)$$

где  $H$  — напор, м;

$g$  — ускорение свободного падения;

$u_2$  — окружная скорость рабочего колеса, м/с;

$c_{u3}$  — проекция абсолютной скорости на окружную скорость на выходе из колеса для конечного числа лопаток, м/с.

Тогда

$$\eta_{\Gamma} = \frac{22 \cdot 9,81}{9,76 \cdot 6,23} = 0,85.$$

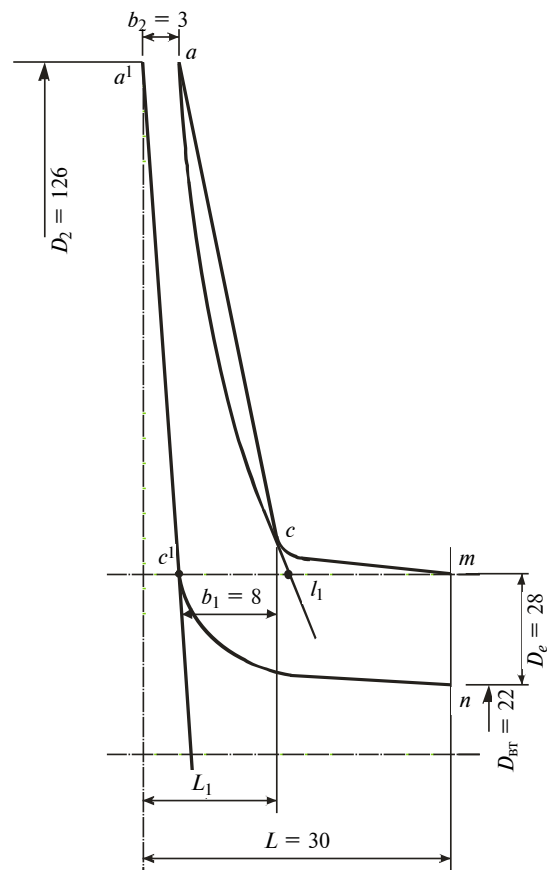


Рис. 2. Меридиональная проекция колеса с радиальными лопатками

Относительную скорость потока на выходе из колеса при конечном числе лопаток  $\omega_3$ , м/с, определяли согласно [4] по формуле

$$\omega_3 = \sqrt{\omega_{u3}^2 + c_{r2}^2}, \quad (2)$$

где  $\omega_{u3}$  — проекция относительной скорости на окружную скорость на выходе из колеса при конечном числе лопаток, м/с;

$c_{r2}$  — меридиональная скорость на выходе, м/с.

Тогда

$$\omega_3 = \sqrt{(9,76 - 6,23)^2 + 0,76^2} = 3,61 \text{ м/с.}$$

Абсолютную скорость потока на выходе из колеса  $c_3$ , м/с, определяли согласно [5] по формуле

$$c_3 = \sqrt{c_{u3}^2 + c_{r2}^2}, \quad (3)$$

где  $c_{u3}$  — проекция абсолютной скорости на окружную скорость на выходе из колеса для конечного числа лопаток, м/с;

$c_{r2}$  — меридиональная скорость на входе, м/с.

Тогда

$$c_3 = \sqrt{6,23^2 + 0,76^2} = 6,28 \text{ м/с.}$$

Угол охвата  $\varphi$ , град., определяли согласно [5] по формуле

$$\varphi = K_{\varphi} K_{b2} K_{D2}, \quad (4)$$

где  $K_{\varphi}$ ,  $K_{b2}$ ,  $K_{D2}$  — коэффициенты, зависящие от удельной быстроходности.

Согласно [1, С. 38]  $K_{\varphi} = 0,47$ ,  $K_{b2} = 0,9$ ,  $K_{D2} = 40$ .

Используя эти значения получим

$$\varphi = 0,47 \cdot 0,9 \cdot 40 = 16,92.$$

### Математическая модель

Поршневые насосы применимы для перекачивания только чистых жидкостей. Это объясняется наличием клапанов в конструкции поршневого насоса (таблица). Присутствие примесей в перекачиваемой жидкости может привести к выходу из строя клапанов насоса. При возвратно-поступательном движении возникают большие силы инерции, поэтому средняя скорость движения поршня ограничивается значениями 0,5—1 м/с. Поршневые насосы обеспечивают прерывистую подачу жидкости. Они имеют большие габариты по сравнению с центробежными, что объясняется сложностью их конструкции. При этом поршневые насосы способны обеспечивать большие напоры, но подача не зависит от напора, что позволяет применять их в качестве насосов-дозаторов. КПД поршневых насосов выше, чем у центробежных [6].

*К преимуществам поршневых насосов относятся:*

- независимость подачи от напора;
- высокий КПД;
- тихоходность.

*К недостаткам поршневых насосов относятся:*

- высокая стоимость;
- сложность конструкции;
- сложность регулирования подачи;
- чувствительность к механическим примесям;
- прерывистая подача рабочей жидкости.

Исходными данными для гидравлического расчета колеса являются:  $H = 22$  м,  $Q = 2,9$  м<sup>3</sup>/ч = 0,81 л/с,  $N = 0,37$  кВт,  $n = 1480$  об/мин.

Удельную быстроходность насоса  $n_s$  определяли согласно [6] по формуле

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (5)$$

где  $n$  — число оборотов, об./мин;

$Q$  — расход, л/с;

$H$  — напор, м.

Тогда

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1480 \sqrt{0,81 \cdot 10^{-3}}}{22^{3/4}} = 15.$$

Необходимый подпор  $H_s$ , м столб жидкости, определяли согласно [6] по формуле

$$H_s \leq - \left( \frac{n\sqrt{Q}}{C_{кр}} \right)^{4/3} \cdot 10, \quad (7)$$

где  $n$  — число оборотов, об./мин;

$Q$  — расход жидкости, л/с;

$C_{кр}$  — коэффициент, зависящий от удельной быстроходности насоса и толщины вала, проходящего через отверстие.

Результаты наблюдений и вычислений при снятии характеристики насоса

| № опыта | Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /ч | Давление по манометру $P_m$ , кгс/см <sup>2</sup> | Давление по вакууметру $P_{\text{вак}}$ , кгс/см <sup>2</sup> | Напор $H$ , м | Сила тока $I$ , А | Мощность на валу $N$ , Вт | Мощность полезная $N_p$ , Вт | КПД насоса $\eta$ , % |
|---------|--------------------------------|---|---|---------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1       | 1,2                            | 1,3   | -0,11   | 14,1          | 1,7               | 374                       | 165,7                        | 44,3                  |
| 2       | 1,02                           | 1,4   | -0,09   | 14,9          | 1,65              | 363                       | 148,8                        | 41,0                  |
| 3       | 0,9                            | 1,5   | -0,05   | 15,5          | 1,62              | 356,4                     | 136,6                        | 38,3                  |
| 4       | 0,8                            | 1,6   | -0,01   | 16,1          | 1,6               | 352                       | 126,1                        | 35,8                  |
| 5       | 0,72                           | 1,7   | 0   | 17            | 1,6               | 352                       | 119,8                        | 34,0                  |
| 6       | 0,66                           | 1,8   | 0,005   | 17,95         | 1,59              | 349,8                     | 116,0                        | 33,2                  |
| 7       | 0,6                            | 1,9   | 0,01  | 18,9          | 1,59              | 349,8                     | 111,0                        | 31,7                  |
| 8       | 0,42                           | 2   | 0,02  | 19,8          | 1,59              | 349,8                     | 81,4                         | 23,3                  |
| 9       | 0,15                           | 2,1   | 0,06  | 20,4          | 1,59              | 349,8                     | 30,0                         | 8,6                   |
| 10      | 0                              | 2,2   | 0,08  | 21,2          | 1,58              | 347,6                     | 0,0                          | 0,0                   |

Согласно [6]  $C_{кр} = 180$ .

$$H_S \leq - \left( \frac{1480 \cdot \sqrt{0,81 \cdot 10^{-3}}}{180} \right)^{4/3} \cdot 10 = -8 \text{ м столб жид-}$$

кости.

Кроме того, определяли соотношение

$$\frac{\sqrt{H}}{n}, \quad (8)$$

где  $H$  — напор, м;

$n$  — число оборотов, об/мин.

$$\frac{\sqrt{H}}{n} = \frac{\sqrt{22}}{1480} = \frac{1}{316}.$$

Внешний диаметр рабочего колеса  $D_2$ , м, определяли согласно [7] по формуле

$$D_2 = K_{D2} \frac{\sqrt{H}}{n}, \quad (9)$$

где  $K_{D2}$  — коэффициент, зависящий от удельной быстроходности.

Согласно [1, С. 38]  $K_{D2} = 40$ .

$$D_2 = 40 \cdot \frac{1}{316} = 0,126 \text{ м} = 126 \text{ мм}.$$

Окружную скорость рабочего колеса  $u_2$ , м/с, определяли согласно [7] по формуле

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}, \quad (10)$$

где  $D_2$  — внешний диаметр рабочего колеса, м;  
 $n$  — число оборотов, об/мин.

$$u_2 = \frac{3,14 \cdot 0,126 \cdot 1480}{60} = 9,76 \text{ м/с}.$$

Эквивалентный диаметр всасывающего отверстия  $D_{e \text{ экв}}$ , м, определяли согласно [1, С. 55] по формуле

$$D_{e \text{ экв}} = K_{De \text{ экв}} \frac{\sqrt{H}}{n}, \quad (11)$$

где  $K_{De \text{ экв}}$  — коэффициент, зависящий от удельной быстроходности.

Согласно [1, С. 38]  $K_{De \text{ экв}} = 5,5$ .

$$D_{e \text{ экв}} = 5,5 \cdot \frac{1}{316} = 0,017 \text{ м} = 17 \text{ мм}.$$

Диаметр входа в колесо  $D_e$ , м, определяли согласно [7] по формуле

$$D_e = K_{De} \frac{\sqrt{H}}{n}, \quad (12)$$

где  $K_{De}$  — коэффициент, зависящий от удельной быстроходности.

Согласно [1, С. 38]  $K_{De} = 9$ .

$$D_e = 9 \cdot \frac{1}{316} = 0,028 \text{ м} = 28 \text{ мм}.$$

Диаметр втулки рабочего колеса  $D_{\text{втул}}$ , м, определяли согласно [7] по формуле

$$D_{\text{втул}} = \sqrt{D_e^2 - D_{e \text{ экв}}^2}, \quad (13)$$

где  $D_e$  — диаметр входа в колесо, м;

$D_{e \text{ экв}}$  — эквивалентный диаметр всасывающего отверстия, м.

Тогда

$$D_{\text{втул}} = \sqrt{0,028^2 - 0,017^2} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм}.$$

Скорость входа в колесо  $c_e$ , м/с, определяли согласно [7] по формуле

$$c_e = \frac{4Q'}{\pi D_{e \text{ экв}}^2}, \quad (14)$$

где  $Q'$  — расчетная производительность, л/с;

$D_{e \text{ экв}}$  — эквивалентный диаметр всасывающего отверстия, м.

Расчетную производительность  $Q'$ , л/с, определяли согласно [7] по формуле

$$Q' = \frac{Q}{\eta_0}, \quad (15)$$

где  $Q$  — Расход жидкости, л/с;

$\eta_0$  — объемный КПД.

Тогда

$$Q' = \frac{0,81}{0,97} = 0,83 \text{ л/с};$$

$$c_e = \frac{4 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,017} = 3,66 \text{ м/с}.$$

Таким образом, исходя из данной методики полученная производительность, определённая в 3,66 м/с, является наилучшим показателем.

## Результаты и обсуждение

Наличие высокоэффективного, энергосберегающего лабораторного оборудования поможет наглядно демонстрировать студентам различные технологические процессы, способы и методы их проведения.

Существующие лабораторные установки для исследования характеристик насосов по модели

"Нагнетательные машины" морально устарели и имеют ряд недостатков [8]:

- высокое потребление электроэнергии вследствие большой мощности электродвигателей;
- наличие вредных факторов (шум и давление);
- большое количество занимаемых площадей;
- большой объем бака для хранения оборотной воды;
- невозможность подсоединения других аппаратов;
- сложность конструкции;
- большая металлоемкость.

## Заключение

Изготовленная лабораторная установка позволит существенно сэкономить на электроэнергии и воде, она компактна и безопасна. Установленные электронасосы исключают возможность попадания на вращающиеся детали. Кроме того, она более эстетична и эргономична [9, 10].

Универсальность представленной установки заключается в возможности проведения большого количества опытов, которые можно провести: снятие характеристик каждого насоса в отдельности при последовательной и параллельной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Морозов В. А., Морозова О. Н.** Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания // ИВД. 2018. № 1(40). <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-effektivnosti-i-ekologichnosti-dvigateley-vnutrennego-sgoraniya>
2. **Ощепков Д. В.** Исследование проблем поршневых насосов // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2019. № 5-2. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-problem-porshnevyyh-nasosov>
3. **Дворовенко И. В.** О равномерности подачи жидкости поршневыми насосами // Вестник КузГТУ. 2017. № 3. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-ravnomernosti-podachi-zhidkosti-porshnevymi-nasosami>
4. **Спиридонов Е. К., Хабарова Д. Ф.** Принципиальные схемы и характеристики бесклапанных насосов с вытеснителем возвратно-поступательного перемещения // Изв. Самарского научного центра РАН. 2016. № 1-2. <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipialnye-shemy-i-harakteristiki-besklapannyh-nasosov-s-vytesnitelem-vozvratno-postupatel'nogo-peremescheniya>
5. **Shanbi P., Enbin L., Weiwei X., Di W., Hongbing Z.** Dynamic simulation of an underground gas storage injection production network // J. Environmental Biology. 2018. V. 36. № 4. P. 799.
6. **Bodo M., Gudrun W., Rainer K.** Systematic investigation of flow profiles in pipes and their effects on gas meter behavior // Measurement. 2019. V. 22. № s1-2. P. 1–14.
7. **Huichao Z., Lihui P., Tsuyoshi T.** ANN based dataintegration for multi-Path ultrasonic flowmeter // IEEE Sensors J. 2020. V. 14. № 2. P. 362–370.
8. **Pamela I. M., Gregor J. B., Brian P. S.** Ultrasonic transittime flowmeters // Meas. Sci. Technol. 2018. № 11. P. 1802–1811.
9. **Щерба В. Е., Болштянский А. П.** Конструктивные компоновки поршневых гибридных машин объемного действия // ОНВ. 2018. № 1(157). <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktivnye-komponovki-porshnevyyh-gibridnyh-mashin-obemnogo-deystviya>
10. **Майструк А. В., Сюрсин Е. С., Рыжий Н. В.** Информационная система учета электроэнергии специальных объектов и пути ее развития. // Современные направления в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Сб. науч. тр., С.-Пб., 2019. С. 84–91.

## METHODS FOR IMPROVING THE PROJECT OF THE LABORATORY INSTALLATION "INJECTION MACHINE"

*E. Yu. Lushpa*

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

*The article presents a project of the laboratory model "Injection machine". The aim is to investigate the possibility of improving the laboratory setup, as well as to provide illustrative recommendations. Approbation of the proposed technique confirms its correctness and applicability for any type of injection units. The results showed that using the proposed methodology, the mathematical model of the injection unit was improved.*

**Keywords:** injection machine, improvement technique, industrial enterprises, hydraulics.

**Bibliography** — 9 references.

*Received January 10, 2022*

УДК 629.764

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_37

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. Н. Нестечук, канд. техн. наук; А. С. Шавин, канд. техн. наук;

С. Г. Хлебников, канд. воен. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

*Разработана модель идентификации состояния космического объекта по результатам оптических измерений, построенная на основе нейронной сети. Исходные данные для модели получены с помощью программного модуля оценивания некоординатной информации о космических объектах. Представлены результаты апробации разработанной модели. Обосновано применение модели для решения задачи автоматического наблюдения и контроля за состоянием космических объектов.*

**Ключевые слова:** анализ данных, классификация, космический объект, машинное обучение, нейросеть, оптические измерения.

Непрерывные изменения, происходящие в околоземном космическом пространстве, связанные с ростом числа космических объектов (КО), приводят к возрастанию значимости своевременной идентификации их состояния за счет автоматического наблюдения и контроля за КО, выполняемых информационной системой — системой мониторинга космического пространства.

Система мониторинга космического пространства включает оптические, радиолокационные и радиотехнические средства. В случае отсутствия телеметрической информации основным источником по объему и качеству получаемой информации является оптико-электронный комплекс, в задачи которого входит автоматическое обнаружение неизвестных КО, получение и накопление по этим объектам координатных и некоординатных измерений [1].

При этом наиболее информативными данными для определения динамических, габаритных

и отражательных характеристик КО являются данные наблюдений оптико-электронными средствами (ОЭС), а признаком отнесения КО к управляемому космическому аппарату — является его стабилизированное положение во время орбитального движения.

Классификация состояния КО (управляемого или неуправляемого) возможна в результате интеллектуального анализа некоординатной измерительной информации, а именно фотометрических характеристик (блеска) КО [2]. Такой анализ проводится методом экспертных оценок и требует накопления достаточного объема однородных данных. В условиях постоянного роста числа КО сложность задачи идентификации состояния КО за определенное время возрастает многократно.

Одним из способов решения указанной проблемы является применение технологий машинного обучения. В качестве классификатора рассмотрим модель машинного обучения [3], как нейронная сеть. Возможности нейронных сетей выполнять операции сравнения по образцу и классификации объектов, недоступные для традиционной математики, позволяют создавать искусственные системы для решения задач распознавания образов, автоматического анализа, прогнозирования и оптимизации.

Для постановки и решения задачи классификации состояния КО были смоделированы измерения наземных ОЭС, а именно вариаций блеска стабилизированных и вращающихся КО, расположенных на геостационарной орбите.

---

**Нестечук Анатолий Николаевич**, заместитель начальника.

E-mail: vka@mil.ru

**Шавин Александр Сергеевич**, доцент, начальник лаборатории военного института.

E-mail: vka@mil.ru

**Хлебников Сергей Германович**, доцент, старший научный сотрудник военного института.

E-mail: vka@mil.ru

---

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2022 г.

© Нестечук А. Н., Шавин А. С., Хлебников С. Г., 2022



### Постановка задачи

Классификация является методом машинного обучения, использующего данные, которые включают известные значения признаков (значения блеска наблюдаемого КО), а также известные значения класса (управляемый или неуправляемый КО). Таким образом, мы имеем дело с двумя категориями классификации (бинарной классификацией).

Для решения задачи классификации предлагается использовать алгоритм классификации нейронной сетью.

Алгоритм классификации используется для сопоставления множества данных обучающей выборки с функцией, которая вычисляет вероятность для каждого класса на основе значений признаков. Для оценки достоверности получаемых прогнозов классов используется выборка тестовых данных.

В простой (неглубокой) нейронной сети значения вектора признаков данных, подлежащих классификации (входной слой), передаются на уровень следующего, скрытого слоя. Каждый из нейронов (узлов скрытого слоя) генерирует ответ в соответствии с функцией активации. Ответы нейронов скрытого слоя передаются на выходной уровень, результаты ответов которого и являются результатом отнесения к ранее определенному классу:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}^{[1]} &= \mathbf{W}^{[1]}\mathbf{X} + b^{[1]}, \\ \mathbf{A}^{[1]} &= \delta(\mathbf{Z}^{[1]}); \\ \mathbf{Z}^{[2]} &= \mathbf{W}^{[2]}\mathbf{A}^{[1]} + b^{[2]}, \\ \mathbf{A}^{[2]} &= \delta(\mathbf{Z}^{[2]}), \end{aligned}$$

где  $\mathbf{A}$  — вектор ответа (выходных значений) после сигмоидальной функции;

$\mathbf{X}$  — входной вектор данных;

$\mathbf{W}$  — вектор весовых коэффициентов между узлами нейросети;

$\delta$  — сигмоидальная функция;

$b$  — сдвиг.

Таким образом, входной вектор преобразуется нейронной сетью в выходной:

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &\rightarrow \mathbf{A}^{[2]} = \mathbf{Y}, \\ \mathbf{Y} &= \delta[\mathbf{W}^{[2]}\delta(\mathbf{W}^{[1]}\mathbf{X} + b^{[1]}) + b^{[2]}], \end{aligned}$$

где  $\mathbf{Y}$  — выходной вектор данных.

Более сложные (глубокие) нейронные сети работают аналогично, с той лишь разницей, что ответы, полученные с первого скрытого слоя,

передаются на последующий и т. д., пока не поступят на выходной слой нейронной сети.

Задача классификации [4] формулируется следующим образом.

Пусть заданы два множества,  $M$  и  $S$ , значений блеска КО. На множестве  $M$  имеется разбиение на подмножества (классы)  $C_k$ ,  $k = \overline{1, 2}$ :

$$M = \bigcup_{k=1}^K C_k.$$

Таким образом, задана некоторая обучающая информация  $I_0$  о классах  $C_k$ .

Совокупность значений блеска множества  $S$  определяет множество описаний  $I(S)$  допустимых  $S \in M$ .

Задача классификации состоит в том, чтобы по информации  $I_0$  о классах  $C_k$  и описанию  $I(S)$  множества  $S$  вычислить значения предикатов  $P_k(S)$  (прогнозируемых классов для множества  $S$ ).

Требуется разработать модель идентификации состояния КО по результатам оптических измерений  $V$ , такую, что

$$V[I_0(C_k), I(S)] = \alpha_k^V(S), \quad \alpha_k^V(S) = P_k(S),$$

где  $\alpha_k^V(S)$  — оценка принадлежности  $S$  к классу  $C_k$ .

При следующих ограничениях и допущениях имеем:

- модель космического объекта состоит из  $n$  геометрических тел, каждое из которых характеризуется положением в пространстве и углами поворотов вокруг осей системы координат, связанной с центром масс объекта [5];

- выделяются два вида состояния КО: управляемый и неуправляемый. В связи с этим все состояния КО делятся на два класса: класс 1, характеризующийся тем, что наблюдаемый КО стабилизирован и остаётся управляемым, и класс 2, характеризующийся тем, что наблюдаемый КО — неуправляемый, без стабилизации (вращается по какой-либо оси).

### Нейросетевая модель идентификации состояния космического объекта

Построение моделей машинного обучения можно разделить на четыре этапа: получение данных, предварительная обработка и анализ данных, определение топологии (архитектуры) модели машинного обучения и моделирование, оценивание модели машинного обучения.

*1-й этап. Получение данных для построения модели машинного обучения.* Для обучения классификатора идентификации состояния КО тре-

буется большой объем размеченных данных. В качестве исходных данных была использована выборка, сгенерированная программным модулем [6], объемом 33746 измерений блеска КО. Модуль позволяет сформировать измерительную информацию, которая учитывает динамические, оптико-геометрические характеристики КО, а также позволяет смоделировать различные варианты фоноцелевой обстановки и технические характеристики информационных средств. Смоделированы различные ситуации, характерные для двух классов состояний КО: управляемые и неуправляемые.

**2-й этап. Предварительная обработка и анализ данных для построения модели машинного обучения.** При применении машинного обучения наличие некорректных данных будет означать получение некорректной модели. Поэтому необходимо убедиться в качестве данных.

Основные задачи предварительной обработки данных:

- подстановка недостающих значений, устранение выбросов и шума в данных;
- нормализация значений в целях приведения их к единому виду;
- дискретизация значений в целях упрощения структуры данных.

Для предварительной обработки и построения модели идентификации состояния КО использовался пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB [7]. На рис.1 приведен пример визуализации данных значений блеска КО в зависимости от времени наблюдения.

Анализ кривых блеска стабилизированного (управляемого) КО и кривых блеска неуправля-

емого КО, вращающегося по разным осям и с разной угловой скоростью, полученных от различных ОЭС, позволил сделать вывод о минимально необходимом диапазоне длительностей наблюдения (800—1000 с) за КО, позволяющем достоверно идентифицировать состояние КО.

**3-й этап. Определение топологии нейронной сети и моделирование.** Искусственные нейронные сети имеют два основных параметра, которые управляют топологией сети: количество слоев и количество узлов в каждом скрытом слое. Самый надежный способ настроить эти параметры для конкретной задачи прогнозного моделирования — это систематические эксперименты [8].

Согласно исследованию [9], нейросеть с двумя скрытыми слоями может создать классификатор любой желаемой формы. Количество узлов в скрытых слоях определим следующим образом [10]:

$$h_1 = \sqrt{(m+2)N} + 2\sqrt{N/(m+2)};$$

$$h_2 = m\sqrt{N/(m+2)},$$

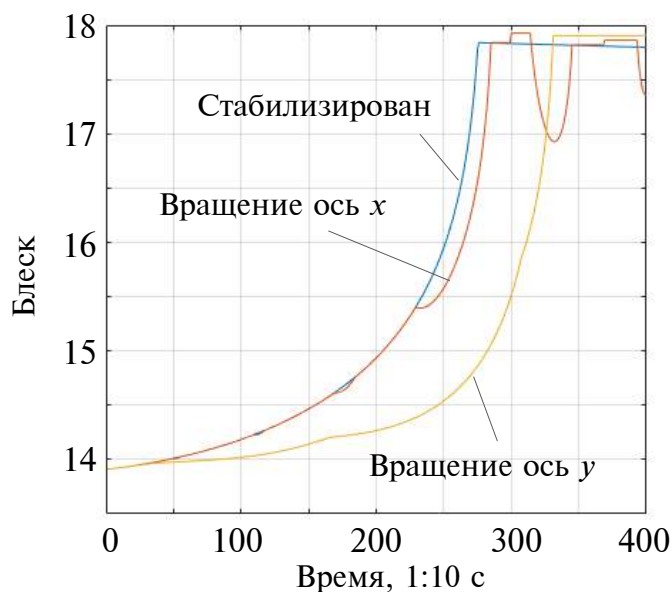
где  $h_1$  — количество узлов в первом скрытом слое;

$h_2$  — количество узлов во втором скрытом слое;

$N$  — количество используемых наборов данных;

$m$  — количество узлов в выходном слое.

С учетом изложенного выбрана нейросеть с двумя скрытыми слоями и числом нейронов 330 в первом слое и 110 во втором. Структура модели идентификации состояния КО в пакете MATLAB представлена на рис. 2.



**Рис. 1. Пример визуализации данных значений блеска КО в зависимости от времени наблюдения**

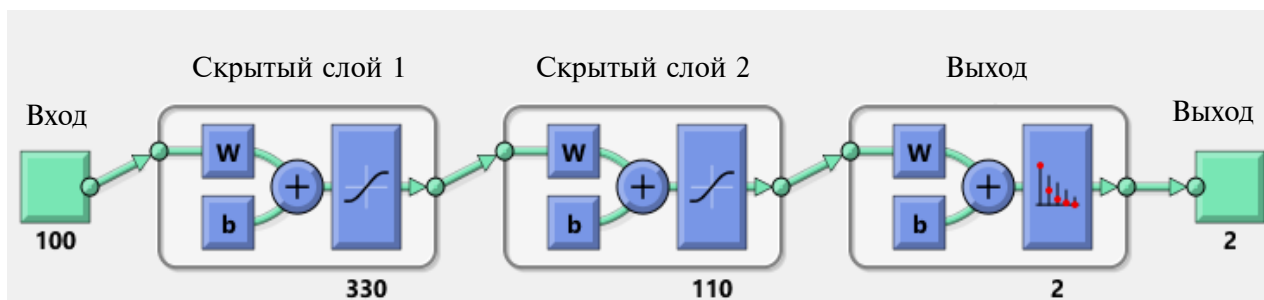


Рис. 2. Структура модели идентификации состояния космического объекта

Также при определении числа нейронов в скрытых слоях учитывались эмпирические правила определения числа нейронов [11]:

- количество узлов скрытого слоя должно быть не больше количества узлов входного слоя и не меньше количества узлов выходного слоя;
- количество узлов скрытого слоя должно составлять 2/3 суммы узлов входного и выходного слоев;
- количество узлов скрытого слоя должно быть меньше двойного количества узлов входного слоя.

**4-й этап. Оценивание модели машинного обучения.** Перед построением классификатора исходная выборка (100 %) была поделена на обучающую (тренировочную) (70 %), тестовую (20 %) и валидационную (10 %). Оценивание качества модели проводили на тестовой и валидационной выборке, которые не участвовали в процессе построения модели. Для получения оценки применял метод десятикратной перекрестной проверки, заключающийся в разделении исходной выборки на 10 частей. Каждая десятая часть в порядке очереди становилась валидационной, две любые другие — тестовыми, а остальные объединялись в тренировочную выборку. Качество модели определялось по среднему арифметическому значению таких показателей качества, как точность  $A$ , ошибка первого рода  $\alpha$ , ошибка второго рода  $\beta$  и среднеквадратичная ошибка прогнозирования  $MSE$ .

Для визуализации производительности алгоритма классификации результаты работы нейронной сети были представлены в виде матрицы ошибок (*confusion matrix*). Матрица ошибок — макет таблицы, который позволяет визуализировать производительность алгоритма контролируемого обучения. Строки матрицы соответствуют реальным классам состояния КО, а столбцы — прогнозным.

На рис.3 представлена структура матрицы ошибок, на главной диагонали которой стоит общее количество верно прогнозируемых состояний КО, а в остальных ячейках — количество ошибок первого и второго рода.

| TP | FP |
|----|----|
| FN | TN |

Рис. 3. Структура матрицы ошибок классификатора нейросети (TP — для верно определенных значений класса 1; FP — для неверно определенных значений класса 1; TN — для верно определенных значений класса 2; FN — для неверно определенных значений класса 2)

На рис. 4 представлены матрицы ошибок для различных выборок в процессе эксперимента с одной из длительностей наблюдения КО.

| Training Confusion Matrix |   |                 | Validation Confusion Matrix |        |       |
|---------------------------|---|-----------------|-----------------------------|--------|-------|
| Output Class              | 1 | 7786<br>33,5 %  | 13<br>0,1 %                 | 99,8 % | 0,2 % |
|                           | 2 | 0<br>0,0 %      | 15421<br>66,4 %             | 100 %  | 0,0 % |
|                           |   | 100 %<br>0,0 %  | 99,9 %<br>0,1 %             | 99,9 % | 0,1 % |
| Target Class              |   |                 | Target Class                |        |       |
| Output Class              | 1 | 1134<br>34,2 %  | 7<br>0,2 %                  | 99,4 % | 0,6 % |
|                           | 2 | 0<br>0,0 %      | 2176<br>65,6 %              | 100 %  | 0,0 % |
|                           |   | 100 %<br>0,0 %  | 99,9 %<br>0,1 %             | 99,9 % | 0,1 % |
| Target Class              |   |                 | Target Class                |        |       |
| Output Class              | 1 | 2137<br>32,2 %  | 8<br>0,1 %                  | 99,6 % | 0,4 % |
|                           | 2 | 0<br>0,0 %      | 4489<br>67,7 %              | 100 %  | 0,0 % |
|                           |   | 100 %<br>0,0 %  | 99,8 %<br>0,2 %             | 99,9 % | 0,1 % |
| Target Class              |   |                 | Target Class                |        |       |
| Output Class              | 1 | 11057<br>33,3 % | 28<br>0,1 %                 | 99,7 % | 0,3 % |
|                           | 2 | 0<br>0,0 %      | 22086<br>66,6 %             | 100 %  | 0,0 % |
|                           |   | 100 %<br>0,0 %  | 99,9 %<br>0,1 %             | 99,9 % | 0,1 % |
| Target Class              |   |                 | Target Class                |        |       |

Рис. 4. Полученные матрицы ошибок для модели идентификации состояния космического объекта (длительность наблюдения 2000 с)

Показатель точности, отражающий долю верных прогнозов среди всех прогнозов, определяется следующим образом:

$$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Ошибка первого рода возникает, когда интересующее событие ошибочно не обнаружилось, т.е. ошибка первого рода характеризует риск определения управляемого КО как неуправляемого:

$$\alpha = \frac{FP}{TP + FP}.$$

Ошибка второго рода возникает, когда при отсутствии события ошибочно выносится решение о его присутствии, т.е. ошибка второго рода характеризует риск определения неуправляемого КО как управляемого:

$$\beta = \frac{FN}{TN + FN}.$$

Если рассматривать ответ нейросети как вероятность принадлежности КО к определенному классу состояния, то для оценки качества модели можно применить вычисление среднеквадратичной ошибки прогнозирования [3]:

$$MSE = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x (Y_i - \hat{Y}_i)^2,$$

где  $Y_i$  — фактическая вероятность принадлежности к классу состояния  $i$ -го КО;  
 $\hat{Y}_i$  — прогнозируемая вероятность принадлежности к классу состояния  $i$ -го КО;  
 $x$  — количество значений блеска КО.

В таблице приведены значения показателей качества полученной модели в зависимости от длительности сеанса наблюдения.

Результаты моделирования сеансов наблюдений

| Длительность сеанса наблюдения, с | Точность, %  | Ошибка 1-го рода, % | Ошибка 2-го рода, % | MSE           |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------|
| <b>2000</b>                       | <b>0,999</b> | <b>0</b>            | <b>0,0007</b>       | <b>0,0138</b> |
| 1800                              | 0,973        | 0,053               | 0,013               | 0,0337        |
| 1500                              | 0,945        | 0,1                 | 0,03                | 0,052         |
| 1200                              | 0,934        | 0,071               | 0,062               | 0,0651        |
| 1000                              | 0,913        | 0,0916              | 0,0846              | 0,0809        |

Таким образом, разработанная модель, построенная на нейронной сети, позволяет определить состояние КО с высокой точностью.

### Заключение

Решение задачи классификации состояния КО является важным элементом информационного обеспечения эксплуатации орбитальных космических средств. Предложенную модель целесообразно использовать для решения задачи автоматического наблюдения и контроля КО, потребность в таких моделях существенно возрастает число, т. к. увеличивается КО в околоземном космическом пространстве.

Разработанная модель, основанная на классификаторе нейронной сети, в результате проведенных экспериментов показала свою эффективность при определении состояния КО по данным наблюдения наземных ОЭС. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная нейросетевая модель способна достоверно разделять КО на два класса (управляемые и неуправляемые), т.е. фактически решать задачи наблюдения и контроля состояния КО.

После валидации разработанной модели на реальных данных наблюдения наземных ОЭС предлагается использовать ее в центре обработки измерительной информации для повышения достоверности и оперативности идентификации состояния КО в автоматическом режиме.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Котяшов Е. В., Кудинов М. Г., Шавин А. С. Постановка задачи классификации состояния геостационарного космического аппарата после столкновения с неизвестным космическим аппаратом // Тр. Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2016. Вып. 652. С. 76—82.
2. Крупский К. А., Кудинов М. Г., Шавин А. С., Исупов А. А. Методический подход к решению задачи классификации состояния космических объектов по данным наблюдений наземными измерительными средствами // Вопросы радиоэлектроники. Техника телевидения. 2020. Вып. 2. С. 55—62.
3. Мерков А. Б. Распознавание образов: введение в методы статистического обучения. — М.: URSS, 2019. — 256 с.
4. Журавлёв Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Вып. 33. С. 5—68.

5. **Шавин А. С.** Алгоритм расчета площади отражающих поверхностей в геометрической модели космического объекта в интересах оценивания фотометрических характеристик // Тр. Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2018. Вып. 661. С. 32–37.
6. **Шавин А. С., Кудинов М. Г., Крупский К. А., Котяшов Е. В., Хлебников С. Г.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019617824. Программный модуль оценивания некоординатной информации о космических объектах наземными средствами системы контроля космического пространства. Заявка №2019616828. Дата поступления 5.06.2019. Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.06.2019.
7. **Phil Kim** MATLAB Deep Learning: With Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence. — Seoul: Apress, 2017. — 151 p.
8. **Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.** Deep Learning. — N.Y.: The MIT Press, 2017. — 800 p.
9. **Lippmann R. P.** An Introduction to Computing with Neural Nets // IEEE ASSP Magazine. 1987. V. 4. № 2. P. 422.
10. **Stathakis D.** 2009. How many hidden layers and nodes? // International J. Remote IOP Conf. Series: J. Physics: Conf. Series. 2017. № 930. P. 012006. DOI:10.1088/1742-6596/930/1/012006.
11. **Heaton J.** Introduction to Neural Networks for Java. Second Edition. — St. Louis: Heaton Research, 2008. — 440 p.

## **NEURAL NETWORK MODEL FOR IDENTIFYING THE STATE OF A SPACE OBJECT BASED ON OPTICAL MEASUREMENTS**

*A. N. Nestechuk, A. S. Shavin, S. G. Khlebnikov*

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

*The article developed a model for identifying the state of a space object based on the results of optical measurements, built on the basis of a neural network. The initial data for the model were obtained using the software module for evaluating non-coordinate information on space objects, the results of testing the developed model are presented. The use of the model for solving the problem of automatic observation and control of the state of space objects is justified.*

**Keywords:** data analysis, classification, space object, machine learning, neural network, optical measurements.

**Bibliography** — 11 references.

*Received February 11, 2022*

УДК 629.7.05

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_43

## УСТРОЙСТВО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В. А. Богданов; М. С. Кузнецов; А. Д. Лавриненко; С. П. Романов;

Г. Э. Широ, д-р техн. наук

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Москва, Россия

*Рассмотрены принципы работы доплеровских измерителей скорости и угла сноса (ДИСС) летательных аппаратов (ЛА). Предложен алгоритм вычисления вектора скорости ЛА в связанной с ним системе координат при использовании четырехлучевого X-образного ДИСС. Рассмотрены достоинства и недостатки алгоритма. Предложены методы повышения точности измерения составляющих вектора скорости ЛА, представлена сравнительная оценка результатов применения каждого из методов. Сделаны выводы о целесообразности применения того или иного метода.*

**Ключевые слова:** ДИСС, отношение сигнал/шум, скорость летательного аппарата, точность, частота Доплера.

Один из способов автономной навигации летательных аппаратов — использование на борту устройств, позволяющих радиолокационным способом определять их положение в пространстве. Таким устройством является доплеровский измеритель скорости и сноса. ДИСС используют в режиме движения по заданному маршруту, а также в режимах висения и посадки ЛА.

Рассмотрим ДИСС с непрерывным типом излучения радиолокационного сигнала. В основе такого прибора лежит следующий принцип: при излучении непрерывных колебаний эффект Доплера для радиолокационного сигнала, отраженного от точечного элемента земной поверхности, проявляется в изменении частоты этого сигнала по отношению к частоте излучаемых колебаний на так называемую доплеровскую частоту, пропорциональную скорости ЛА относительно отражателя [1]. Таким образом, принимая во

внимание геометрические характеристики ДИСС, частоту излучаемого непрерывного сигнала и измерив частоту доплеровского сдвига отраженного сигнала, можно определить вектор скорости движения ЛА. В работе кратко рассмотрены геометрические принципы проектирования ДИСС и метод вычисления вектора скорости ЛА в связанной с ним системе координат [1].

Точность определения скорости во многом зависит от отношения сигнал/шум (ОСШ) сигнала в приемном тракте [2]. Использован базовый метод измерения частоты доплеровского смещения.

Представлен базовый алгоритм вычисления скорости ЛА, который работает при стабильном ОСШ не менее 6 дБ. Предлагаемые методы повышения точности измерения скорости ЛА, основаны на совершенствовании базового алгоритма. В данном случае использованы классические методы фильтрации, применяемые в цифровой обработке сигналов [3], а также основы траекторной фильтрации [4]. Использование предложенных методов позволяет превысить точность эксплуатируемых ДИСС при ОСШ менее 6 дБ.

### Геометрия ДИСС.

#### Формула вычисления скорости

Доплеровские измерители могут быть спроектированы как однолучевые, двухлучевые, трехлучевые и четырехлучевые системы [1]. Однолучевые системы могут применяться в самолетных ДИСС, где полет можно считать горизонтальным, а вертикальной составляющей вектора

**Богданов Владимир Алексеевич**, инженер-программист.

E-mail: dekriment@ya.ru

**Кузнецов Максим Сергеевич**, инженер-электроник 1-й категории.

E-mail: kuznetsov\_ms@org.miet.ru

**Лавриненко Александр Дмитриевич**, инженер-электроник 1-й категории.

E-mail: sanlav89@mail.ru

**Романов Сергей Павлович**, инженер-электроник.

E-mail: geroy\_2000@mail.ru

**Широ Георгий Эдуардович**, профессор.

E-mail: georgy.shiro@gmail.com

Статья поступила в редакцию 24 декабря 2021 г.

© Богданов В. А., Кузнецов М. С., Лавриненко А. Д., Романов С. П., Широ Г. Э., 2022

скорости пренебречь. Такие системы могут использоваться для определения горизонтальной скорости при известном угле сноса ЛА. Двухлучевые системы также не дают возможности определить вектор скорости ЛА по трем осям координат. Однако при горизонтальном полете при помощи таких систем можно определить и скорость, и угол сноса в горизонтальной плоскости. Трехлучевые системы могут использоваться для определения вектора скорости ЛА в пространстве. Для этого лучи должны обладать условием некомпланарности, т. е. не должны лежать в одной плоскости. Четырехлучевые системы характерны для вертолетных ДИСС. Они, как и трехлучевые системы, однозначно позволяют определить координаты вектора скорости ЛА в пространстве. Введение четвертого избыточного луча дает несколько дополнительных преимуществ. Во-первых, повышается устойчивость работы такой системы: если по одному лучу измерения некорректны, система может продолжать функционировать. Во-вторых, при Х-образном симметричном расположении лучей между четырьмя доплеровскими частотами существует простое соотношение:

$$F_1 + F_3 = F_2 + F_4. \quad (1)$$

Использование данного соотношения может повысить помехозащищенность системы.

Авторами рассмотрена четырехлучевая система ДИСС с Х-образным симметричным расположением лучей (рис. 1). Направления лучей в системе координат, связанной с ЛА, задаются двумя углами:  $\varphi$  и  $\theta$ .

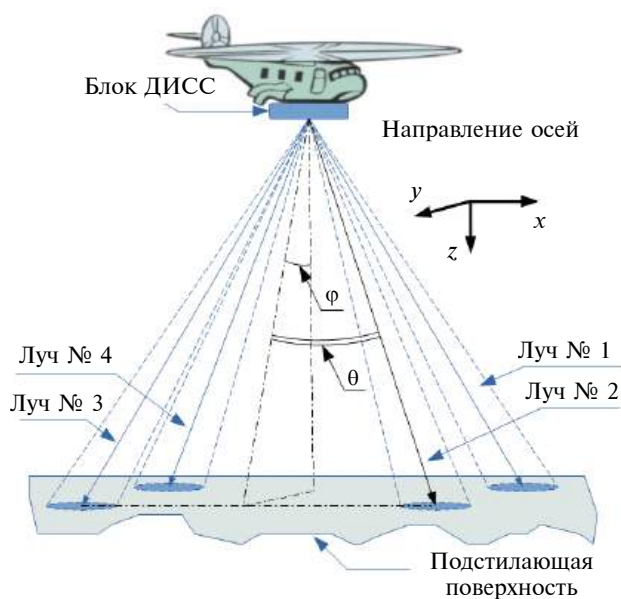


Рис. 1. Геометрия ДИСС

Вектор скорости для такой системы можно вычислить следующим образом. Пусть  $\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \mathbf{L}_3$  и  $\mathbf{L}_4$  — единичные векторы, соответствующие направлениям лучей № 1, 2, 3 и 4. Тогда проекции вектора скорости ЛА на направление каждого луча можно записать в виде скалярных произведений векторов:

$$v_i = \mathbf{L}_i \mathbf{V},$$

где  $i$  — номер луча.

Введем вектор  $\mathbf{V}_f = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ . Для него можно записать матричное выражение:

$$\mathbf{V}_f = \mathbf{L} \mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \\ L_{4x} & L_{4y} & L_{4z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Координаты вектора скорости исходя из данного выражения можно определить одним из четырех способов:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{V}_{f_{123}}; \quad (3.1)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{4x} & L_{4y} & L_{4z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_4 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{V}_{f_{124}}; \quad (3.2)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{1x} & L_{1y} & L_{1z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \\ L_{4x} & L_{4y} & L_{4z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{V}_{f_{134}}; \quad (3.3)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{2x} & L_{2y} & L_{2z} \\ L_{3x} & L_{3y} & L_{3z} \\ L_{4x} & L_{4y} & L_{4z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{V}_{f_{234}}. \quad (3.4)$$

Для симметричной Х-образной лучевой системы ДИСС проекции лучей однозначно определяются углами  $\varphi$ ,  $\theta$ . Тогда выражение (3.1) можно записать следующим образом:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta & -\sin \varphi & \cos \varphi \\ \sin \theta & \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\sin \theta & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{V}_{f_{123}}. \quad (4)$$



Учитывая прямую пропорциональную зависимость скорости ЛА от частоты Доплера:

$$V = \alpha F; \quad \alpha = \frac{c}{2f_0} \quad (5)$$

(где  $c$  — скорость света;  $f_0$  — несущая частота сигнала), выражение (4) можно записать в виде

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} \sin \theta & -\sin \varphi & \cos \varphi \\ \sin \theta & \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\sin \theta & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \mathbf{F}_{123}, \quad (6)$$

или

$$\mathbf{V} = \mathbf{L}^{-1} \alpha \mathbf{F}, \quad (7)$$

где  $f_i$  — частота Доплера, измеренная по  $i$ -у лучу. Для выражений (3.2)—(3.4) формула (6) выводится аналогично.

Таким образом, задача сводится к измерению частот Доплера по каждому из лучей антенны ДИСС. В рассматриваемом варианте ДИСС измерения производятся последовательно при циклическом переключении лучей с периодом 80 мс.

#### Формула ошибки и требования к точности измерения

Для простоты оценки точности ограничимся оценкой модуля скорости ЛА. Суммарную ошибку измерения модуля скорости ДИСС можно описать формулой

$$e(|V|) = e_{\text{сис}} + e_{\text{от}} + e_{\text{из}}, \quad (8)$$

где  $e_{\text{сис}}$  — систематическая ошибка измерений;

$e_{\text{от}}$  — ошибка, связанная с типом отражающей поверхности;

$e_{\text{из}}$  — ошибка измерения частоты Доплера по амплитудному спектру сигнала.

Систематическая ошибка измерений минимизируется правильным измерением диаграмм направленности, углов направлений лучей антенны ДИСС, а также правильной установкой прибора на борту ЛА. Ошибка, связанная с отражающей поверхностью, минимизируется введением поправочных коэффициентов для каждого из типов поверхностей [1]. В данной работе рассмотрим способы устранения ошибки  $e_{\text{из}}$ .

Среди факторов, влияющих на ее значение, можно выделить следующие:

- временная задержка выдачи результата;
- нестабильное ОСШ;
- низкое ОСШ.

Современные ДИСС способны измерять скорость с точностью до 3 % при условии, что показания прибора усредняются в течение времени, за которое ЛА преодолевает расстояние до 10 км. Для приводимого эксперимента будем усреднять ошибку скорости ДИСС в течение временных отрезков, за которые ЛА преодолевает расстояние 3 км, повысив таким образом требования к точности.

#### Описание эксперимента

На одном из этапов разработки вертолетного Х-образного четырехлучевого ДИСС был проведен эксперимент, в ходе которого прибор испытывали на точность модуля скорости. В качестве эталонных данных использовали данные со спутниковой навигационной системы (СНС) ЛА. Рассмотрен временной отрезок экспериментального полета, на котором ЛА поднимается на высоту более 4500 м над уровнем земной поверхности вблизи аэродрома, затем опускается до 800 м (рис. 2). Этот участок полета характерен тем, что с набором высоты ОСШ уменьшается до критического значения, когда сигнал практически не отличим от шума. На рис. 2 приведены данные, полученные при помощи СНС ЛА: высота полета ЛА и модуль скорости ЛА в зависимости от времени полета.

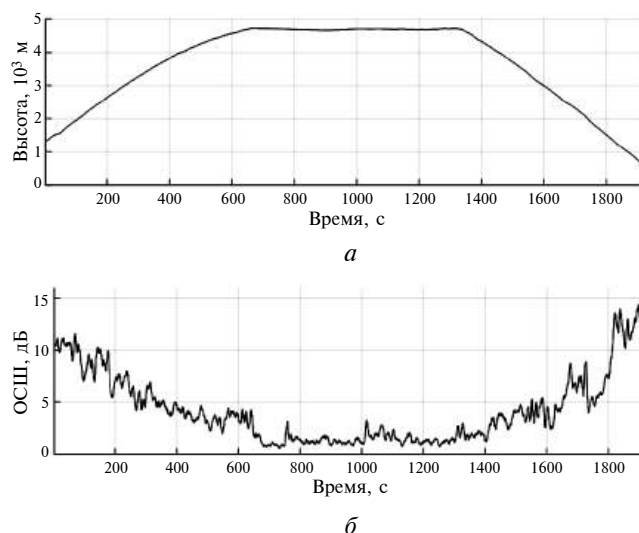


Рис. 2. Высота полета ЛА над уровнем земной поверхности (а) и ОСШ по первому лучу ДИСС (б) в зависимости от времени полета

При помощи дополнительных отладочных возможностей прибора во время полета осуществлялась запись сигнала в полосе 12,5 кГц, отраженного от земной поверхности. Сигнал является дискретной комплексной функцией, состоит из двух квадратурных составляющих:  $I$  (действительная часть сигнала) и  $Q$  (мнимая часть сигнала). На каждом временном отрезке периодом 80 мс фиксируется и записывается 1024 16-разрядных выборки сигнала как для  $I$ -, так и для  $Q$ -квадратуры. Каждая такая выборка соответствует одной итерации алгоритма обработки данных ДИСС, в результате которого вычисляется новое значение вектора скорости ЛА. На рис. 3 приведены пример экспериментальной выборки входного комплексного сигнала и его спектр, полученный с применением быстрого преобразования Фурье (БПФ) размером 1024 отсчета.

Под ОСШ — соотношение

$$\text{ОСШ} = 20 \lg \frac{A_c}{A_{\text{ш}}},$$

где  $A_c$  — максимальное значение амплитуды сигнала в спектре;  
 $A_{\text{ш}}$  — максимальное значение амплитуды шума в спектре (рис. 3).

На рис. 3 показано, как менялось ОСШ в приемном тракте первого луча в течение рассматриваемого временного отрезка. Для остальных лучей наблюдается аналогичная зависимость.

### Базовый метод измерения скорости

Рассмотрим базовый алгоритм вычисления вектора скорости, состоящий из 4 этапов.

*Этап 1. Быстрое преобразование Фурье.* С периодом 80 мс на вход алгоритма поступают описанный комплексный сигнал и соответствующий ему номер луча. При помощи БПФ вычисляют амплитудный спектр данного сигнала  $S$ .

*Этап 2. Измерение частоты Доплера по амплитудному спектру.* В базовом методе измерения скорости данный этап сводится к поиску положения максимума спектра и простому вычислению соответствующего значения на шкале частот.

*Этап 3. Фильтрация измеренной частоты Доплера.* При измерении частоты Доплера по спектру с ухудшением ОСШ увеличивается количество выбросов. Для определения достоверности нового измеренного значения рассматривают выборку из 8 актуальных измерений. В начальный момент алгоритм находится в состоянии "потери сигнала".

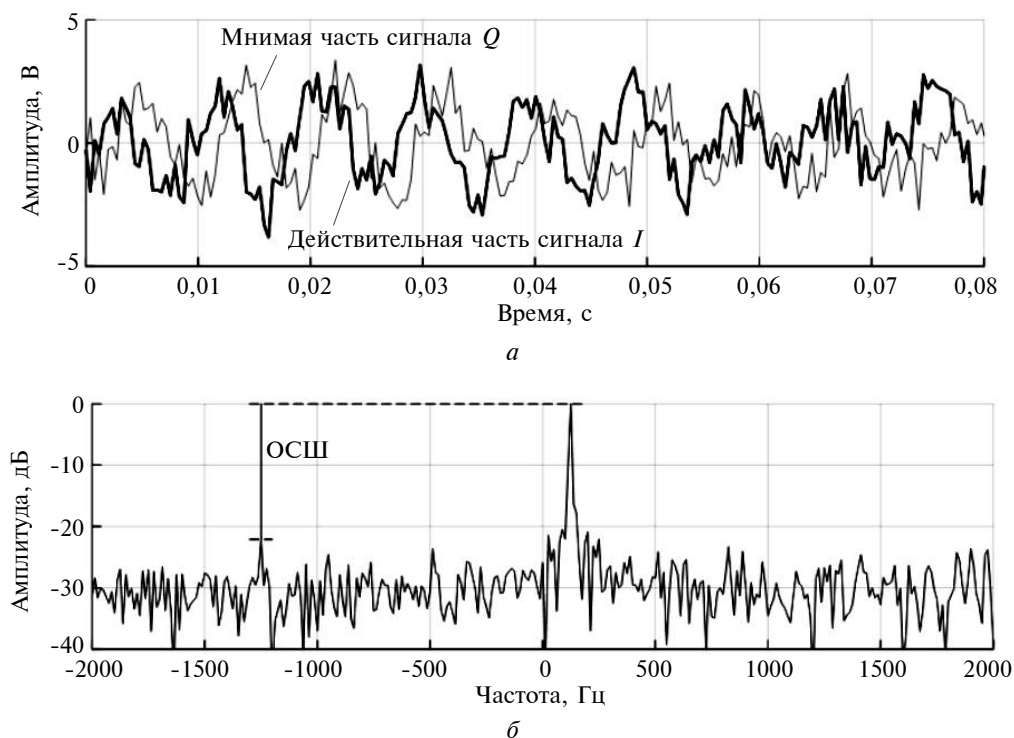


Рис. 3. Пример отраженного комплексного сигнала в полосе 12,5 кГц, поступающего на вход ДИСС по одному из четырех лучей (а), и его амплитудно-частотный спектр (б)

Если среднеквадратичное отклонение (СКО) данной выборки меньше минимально допустимого значения, то алгоритм переходит в состояние "захвата сигнала". Если алгоритм находится в состоянии "захвата сигнала" и СКО выборки несколько раз подряд оказывается больше максимально допустимого значения, то алгоритм возвращается в состояние "потери сигнала". На этом этапе вычисляется "отфильтрованное" значение измеренной на этапе 2 частоты Доплера. В состоянии "захвата сигнала" данное значение обновляется, а в состоянии "потери сигнала" приравнивается последнему достоверному из измеренных значений частоты.

**Этап 4. Вычисление вектора скорости.** Если на текущей итерации алгоритма достаточно данных для вычисления вектора скорости ДИСС, то такой режим системы называется "нормальным". В противном случае система находится в режиме "память". Для "нормального" режима необходимо, чтобы по крайней мере для трех из четырех лучей ДИСС алгоритм находился в состоянии "захвата сигнала". В этом случае вектор скорости вычисляются по одному из соотношений (3.1)–(3.4). В режиме "память" значение вектора скорости не обновляется.

На рис. 4 приведена оценка результатов измерения модуля скорости ЛА относительно

эталонных данных СНС. Изображены следующие зависимости от времени полета:

- модуля скорости ЛА, измеренной при помощи ДИСС;
- модуля скорости ЛА, измеренной при помощи СНС (эталонные данные);
- абсолютной ошибки модуля скорости ДИСС;
- усредненной ошибки модуля скорости ДИСС в течение временных отрезков, за которые ЛА преодолевает расстояние 3 км;
- границ допуска усредненной ошибки;
- режима работы системы (нормальный или "память").

Как видно из рис. 4, базовый алгоритм позволяет достаточно достоверно определять скорость ЛА только на временных отрезках с хорошим ОСШ.

### Улучшение базового метода

Базовый метод позволяет определять скорость ЛА в условиях стабильно хорошего ОСШ на каждом шаге обработки. Однако добиться такого ОСШ практически невозможно. Чем хуже ОСШ, тем чаще положение максимума спектра выходит за пределы статистической погрешности (рис. 5).

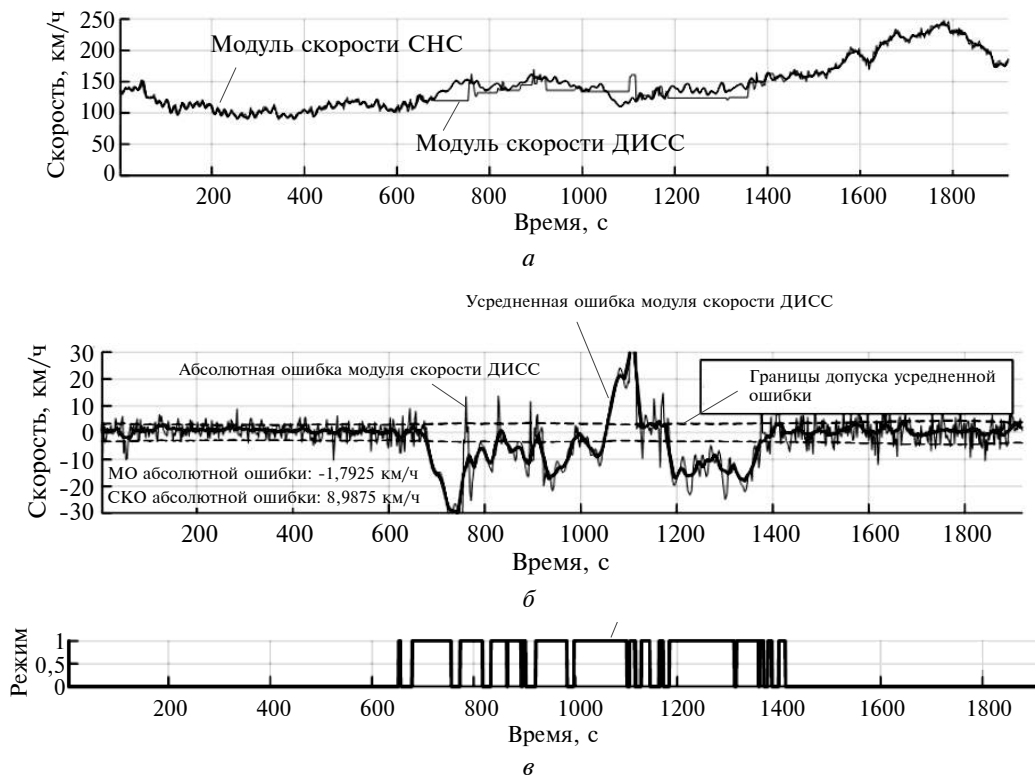
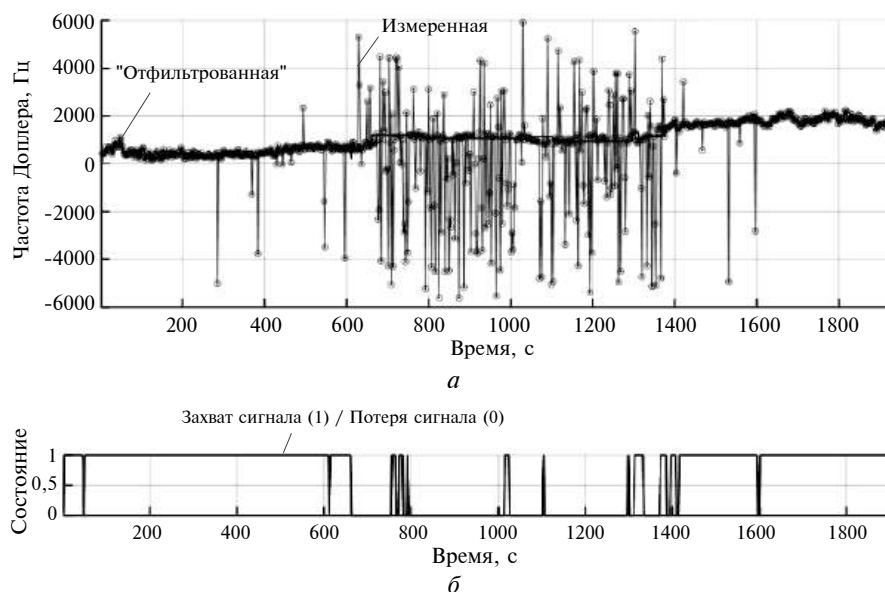


Рис. 4. Оценка модуля скорости ДИСС относительно эталонных данных СНС: а — показания модуля скорости ЛА ДИСС и СНС; б — ошибка измерения модуля скорости ДИСС относительно данных СНС; в — режим работы ДИСС



**Рис. 5. Результат применения базового метода:** *а* — измеренная, "отфильтрованная" частота Доплера; *б* — состояние алгоритма в зависимости от времени полета (пример для луча №1)

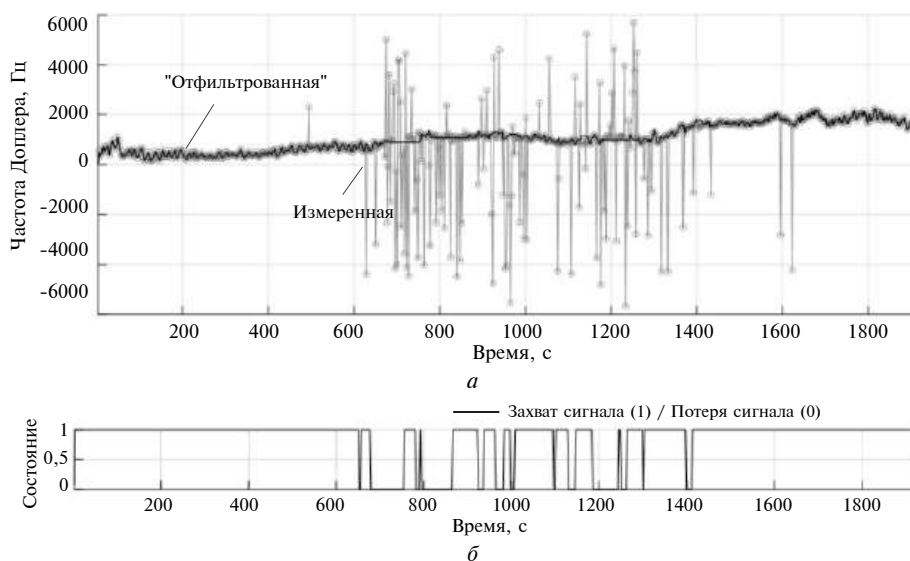
Далее приведены методы, которые связаны с усовершенствованием этапа 2 базового алгоритма. В остальном алгоритм вычисления вектора скорости ДИСС остается без изменений.

#### 1. Метод сглаживания амплитудного спектра взвешенным скользящим средним

Первый шаг к сокращению числа выбросов при измерении частоты Доплера по амплитудному спектру — это сглаживание спектра скользящим средним значением. Для того чтобы выделить значимость пиковых значений спектра, вместо простого скользящего среднего использу-

ется взвешенное скользящее среднее значение. Количество весов берется нечетным, а сами веса распределены симметрично относительно центрального отсчета. В данном алгоритме в качестве весовой функции выбрана функция "окна Хэмминга" размером в 7 отсчетов. Таким образом, измеренная частота Доплера на данном шаге будет определяться положением максимума сглаженного амплитудного спектра на частотной шкале.

Результат применения метода сглаживания амплитудного спектра взвешенным скользящим средним представлен на рис. 6.



**Рис. 6. Результат применения метода сглаживания амплитудного спектра взвешенным скользящим средним:** *а* — измеренная, "отфильтрованная" частоты Доплера; *б* — состояние алгоритма в зависимости от времени полета (пример для луча №1)

Из рис. 4 и 6 видно, что сглаживание амплитудного спектра сокращает количество выбросов, а также существенно сокращает время, в течение которого алгоритм находится в состоянии "потери сигнала".

## 2. Метод усредненных спектров

Следующий шаг — усреднение спектра. В ОЗУ системы предлагается хранить не только текущий амплитудный спектр сигнала, а в общей сложности 8 амплитудных спектров. Последний полученный на выходе БПФ спектр переписывается в область памяти, где хранится самый "устаревший" вариант спектра. Появляется возможность на каждой итерации алгоритма рассчитать усредненный спектр, для которого СКО шума уменьшится в  $\sqrt{8}$  раз, а уровень сигнала не изменится относительно этих же параметров, рассчитанных в отдельно взятом спектре. ОСШ в усредненном спектре увеличивается до 6 дБ.

На рис. 7 представлен результат фильтрации измеренной частоты Доплера. Усреднению подлежали предварительно сглаженные амплитудные спектры при помощи метода 1. Главным преимуществом метода усредненных спектров является существенное уменьшение количества выбросов. Время, в течение которого алгоритм находится в состоянии "потери" сигнала, сведено к минимуму. В частности, в примере для первого луча (рис. 7) после перехода в состояние

"захвата сигнала" на протяжении всего времени полета не наблюдается переходов в исходное состояние.

## 3. Метод использования положения максимума усредненного спектра в качестве ориентира

Существенным недостатком метода усредненных спектров является тот факт, что в результате выполнения процедуры усреднения спектров увеличивается временная задержка в вычислении вектора скорости ЛА. На следующем шаге рассмотрим метод, который позволит сократить эту временную задержку.

Для одиночного сглаженного спектра при помощи *метода 1*, полученного на текущей итерации алгоритма, необходимо определить 3 максимальных по амплитуде пика и зафиксировать их положения на частотной шкале. Из этих трех значений находится одно, отстоящее на минимальное расстояние на частотной шкале от положения максимума усредненного спектра, полученного при помощи *метода 2*. Таким образом, в большинстве измерений будут зафиксированы более актуальные значения частот Доплера относительно максимума усредненного амплитудного спектра. При этом количество выбросов и время пребывания в состоянии потери не увеличатся.

Из рис. 8 видно, что данный метод позволяет добиться требуемой точности измерения модуля скорости ЛА. При этом ДИСС, перейдя в "нормальный" режим на протяжении всего участка полета, не возвращается в режим "память".

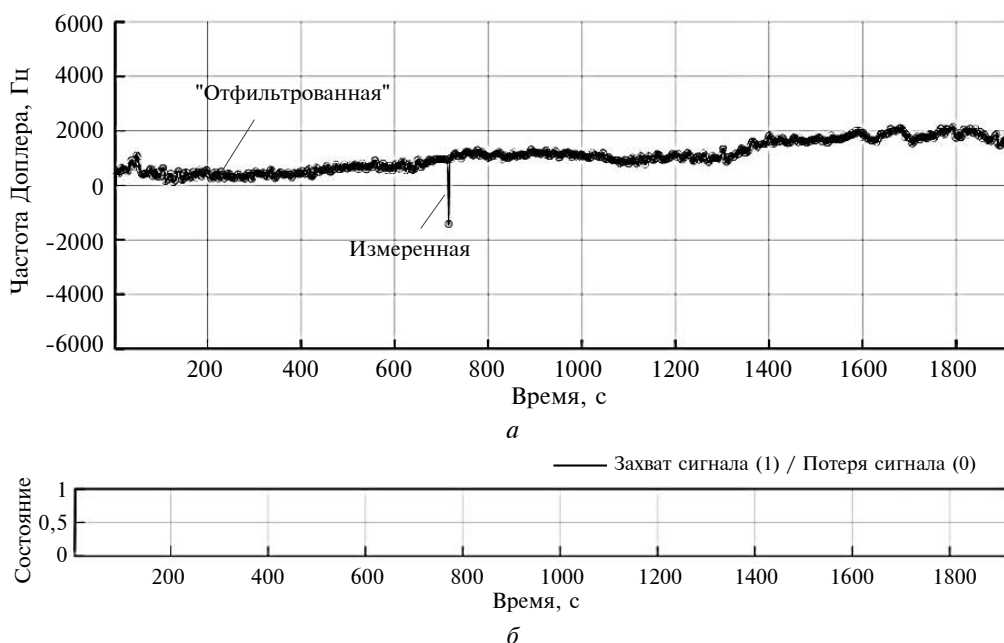


Рис. 7. Результат применения метода усредненных спектров: а — измеренная, "отфильтрованная" частоты Доплера; б — состояние алгоритма в зависимости от времени полета (пример для луча № 1)

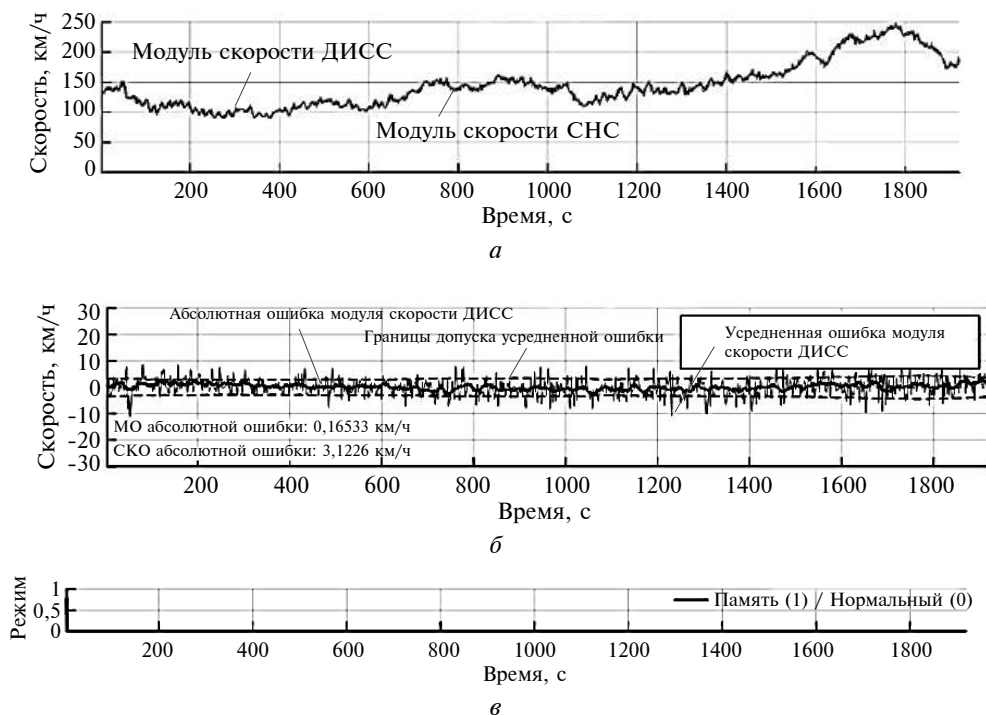


Рис. 8. Оценка модуля скорости ДИСС относительно эталонных данных СНС:

а — модуль скорости ЛА ДИСС и СНС; б — ошибка измерения модуля скорости ДИСС относительно данных СНС; в — режим работы ДИСС

### Заключение

Сравнение результатов исследования работы методов повышения точности измерения скорости ДИСС приведено в таблице. Здесь:

- 1 — базовый метод;
- 2 — метод сглаживания амплитудного спектра взвешенным скользящим средним;
- 3 — метод усредненных спектров;
- 4 — метод использования положения максимума усредненного спектра в качестве ориентира.

Сравнение работы методов повышения точности измерения скорости ДИСС

| Показатель  | Метод |      |      |      |
|---|-------|------|------|------|
|   | 1     | 2    | 3    | 4    |
| Общее время в режиме "память", %                          | 55    | 42   | < 1  | < 1  |
| Время в режиме "память" при ОСШ > 6 дБ, %                 | 7     | < 1  | < 1  | < 1  |
| Время в режиме "память" при ОСШ < 6 дБ, %                 | 87    | 82   | < 1  | < 1  |
| Попадание в пределы допуска погрешности, %                | 43    | 65   | < 1  | < 1  |
| Попадание в пределы допуска погрешности при ОСШ > 6 дБ, % | 91    | > 99 | > 99 | > 99 |
| Попадание в пределы допуска погрешности при ОСШ < 6 дБ, % | 21    | 37   | > 99 | > 99 |

Проанализировав результаты приведенного эксперимента, принимая во внимание факторы, влияющие на ошибку измерения, и требования к точности скорости ДИСС, можно сделать следующие выводы.

Временная задержка в выдаче результата в рассматриваемой архитектуре ДИСС минимальна при применении базового метода и метода сглаживания амплитудного спектра взвешенным скользящим средним значением. Так как количество выбросов при измерении частоты Доплера вторым методом значительно меньше, этот метод целесообразно использовать при высоком показателе ОСШ с кратковременными падениями.

В системах, для которых временная задержка выдачи результата менее критична, лучше всего подойдет использование метода усредненных спектров. При его применении СКО составляющих вектора скорости ЛА будет минимальным. Неоспоримым преимуществом данного метода является его способность измерять достоверно скорость ЛА в условиях нестабильных и низких ОСШ.

Метод использования положения максимума усредненного спектра в качестве ориентира сочетает в себе преимущества всех перечисленных методов. Этот метод, согласно данным проведенного исследования, является оптимальным для применения в вертолетных ДИСС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колчинский В., Мандровский И., Константиновский М. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов. — М.: Советское радио, 1975. — 431 с.
2. Гришин Ю., Ипатов В. Радиотехнические системы. — М.: Высшая школа, 1990. — 498 с.
3. Коновалов А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Ч. 2. — Спб.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. — 182 с.
4. Shenoï B. Introduction to digital signal processing and filter design. — New Jersey: Wiley Interscience, 2006. — 440с.

**NOISE-IMMUNITY DOPPLER VELOCITY SENSOR AIRCRAFT DEVICE**

*V. A. Bogdanov, M. S. Kuznetsov, A. D. Lavrinenko, S. P. Romanov, G. E. Shiro*  
National Research University of Electronic Technology, Zelenograd, Moscow, Russia

*There is an overview of basics working Doppler velocity sensors (DVS) in aircrafts. An algorithm is introduced for calculating the aircraft velocity of its principal axes by using a four-beam X-shaped DVS. The advantages and disadvantages of the algorithm are considered. There are methods for increasing the accuracy of calculating aircraft velocity and evaluation of the results using each methods. Conclusions are made about the overviewed methods.*

*Keywords:* doppler velocity sensors, signal-to-noise ratio, aircraft velocity, accuracy, Doppler frequency.

*Bibliography* — 4 references.

*Received December 24, 2021*



УДК 623.59

DOI: 10.52190/1729-6552\_2022\_1\_52

## **АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ПОЛИГОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАДАЧАМ ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВОЗДУШНО-ДЕСАНТНЫХ ВОЙСК**

*М. А. Филиппов*, канд. техн. наук

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, Рязань, Россия

*Рассмотрено применение полигонных комплексов при обучении военнослужащих. Показано, что их структура и технические возможности выступают источником серьезных допущений, приводящих к формированию и поддержанию у обучающихся ложных навыков. Сделан вывод о необходимости разработки концепции развития полигонных комплексов.*

*Ключевые слова:* полигонное оборудование, полигонный комплекс, технические средства обучения, освоение системы вооружения.

Главная задача боевой подготовки парашютно-десантных, десантно-штурмовых, разведывательных и специальных подразделений Воздушно-десантных войск (ВДВ) заключается в поддержании их в постоянной готовности к немедленному применению для выполнения задач по предназначению без боевого слаживания, что обеспечивается в том числе поддержанием высокого уровня огневой выучки личного состава подразделений.

Подразделения Воздушно-десантных войск своими огневыми средствами способны вести эффективный огонь и успешно поражать живую силу противника, его огневые средства, боевые бронированные машины, а также вести борьбу с воздушными низколетящими целями, что позволяет достигнуть огневого превосходства над противником и обеспечить успех в бою.

Основным средством достижения высокого уровня огневой подготовки является проведение огневых тренировок и упражнений на местности, а также боевых стрельб с использованием полигонного оборудования. Поскольку возможности полигонного оборудования непосредственно влияют на качество обучения военнослужащих, вопросы оценки этого оборудования и анализа соответствия задачам огневой подготовки требуют исследования.

Термин "полигонное оборудование" [1] не полностью охватывает структуру изделий типа ПСО-Р (переносное стрельбищное оборудование, управляемое по радиоканалу), поэтому вместо него будем использовать термин "полигонный комплекс", под которым подразумевается совокупность функционально связанных технических и программных средств, обеспечивающая создание фоноцелевой обстановки, управление ею, а также объективный контроль поражения мишеней при стрельбе.

### **Анализ соответствия возможностей полигонных комплексов задачам огневой подготовки подразделений ВДВ**

На полигонах Министерства обороны Российской Федерации в основном используют полигонные комплексы следующих модификаций:

- переносное стрельбищное оборудование (ПСО);
- мобильный комплект полигонного оборудования (МКПО);
- комплекс полигонного автоматизированного оборудования (КПАО);
- ротный тактический комплект (РТК).

Основные характеристики полигонных комплексов и входящих в их состав мишенных установок (которые могут заменять комплектное оборудование единичными образцами) представлены в табл.1,2 [2–6]. Так как различные источники для одинакового оборудования содержат противоречивые данные, в указанных таблицах приведены их наилучшие значения.

**Филиппов Максим Александрович**, докторант.  
E-mail: air\_bt@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2022 г.

© Филиппов М. А., 2022

Таблица 1

## Технические характеристики полигонных комплексов

| Характеристика  | ПСО-Р            | МКПО          | КПАО                                | РТК-1          |
|---|------------------|---------------|-------------------------------------|----------------|
| Дальность управления, м   | 1500             | 2000          | 6000                                | 3500           |
| Тип управления:<br>• по радио;<br>• по проводам   | Да<br>Нет        | Да<br>Нет     | Да<br>Нет                           | Да<br>Да       |
| Количество мишенных установок, шт.:<br>• средние (для мишеней 5—11, 15, 16, 24) [7];<br>• тяжелые (для мишеней 12—14, 17—20, 22, 23);<br>• движущиеся (тележек) | 40<br>Нет<br>Нет | 108<br>5<br>7 | Нет свед.<br>Нет свед.<br>Нет свед. | 80<br>6<br>Нет |
| Источник питания, В:<br>• автономный;<br>• возможность работы от электросети  | 12<br>Да         | 12<br>Да      | 12<br>Да                            | 12, 48<br>Нет  |
| Режим управления мишенной обстановкой:<br>• ручной;<br>• автоматический (программный)   | Да<br>Да         | Да<br>Да      | Да<br>Да                            | Да<br>Нет      |
| Время опроса 40 мишенных установок, с   | 4±0,5            | 2±1           | 2±0,5                               | Нет            |
| Скорость ветра, м/с   | 10               | 10            | 10                                  | 10             |
| Интервал рабочих температур, °С   | от -20 до +50    | от -30 до +50 | от -30 до +50                       | от -30 до +50  |

Таблица 2

## Технические характеристики мишенных установок

| Характеристика   | РУСМ-12   | УМУ-С-48  | РУМУС     |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Средние мишенные установки   |           |           |           |
| Масса установки, кг  | 20        | 28        | 31,4      |
| Время подъема (опускания), с   | 2         | 7(9)      | 4,5       |
| Количество циклов подъем—опускание от одного заряда АКБ                        | 300       | Нет свед. | 100       |
| Время нахождения в поле с наработкой 300 циклов подъем—опускание не менее, сут | 3         | Нет свед. | 3         |
| Имитация стрельбы вспышками лампы  | Да        | Да        | Да        |
| Максимальный момент на валу, Н·м   | 100       | 107       | Нет свед. |
| Тяжелые мишенные установки   | РУТМ-24   | УМУ-Т-48  | РУСТМ     |
| Масса установки, кг  | 64        | 100       | 80        |
| Время подъема (опускания), с   | 9         | 12(7)     | 15        |
| Количество циклов подъем—опускание от одного заряда АКБ                        | 300       | Нет свед. | 100       |
| Имитация стрельбы вспышками лампы  | Да        | Да        | Да        |
| Максимальный момент на валу, Н·м   | 1200      | Нет свед. | 1800      |
| Движущиеся мишенные установки  | УДЦ-Р     | УДМ-Р     | ТДСЦР     |
| Скорость движения/шаг регулировки скорости, м/с                                | 0,5—5/0,5 | 0,5—5/0,5 | 0,5—5/0,5 |
| Длина путепровода, м   | До 100    | До 300    | До 300    |

Представленные полигонные комплексы должны обеспечивать формирование, совершенствование и поддержание на заданном уровне умений и навыков операторов систем вооружения:

- проверки боя и приведения к нормальному бою, выверке прицельных приспособлений штатного вооружения подразделения;

- ведения эффективного огня в любых условиях;

- организации огневого поражения противника и управления огнем штатных, приданных и поддерживающих огневых средств в ходе боя.

При этом под системой вооружения понимают, с одной стороны, отдельный образец штат-

ного вооружения, для которого оператором является стрелок, а с другой — совокупность всех образцов подразделения как элементов единой системы, по отношению к которой оператором является командир подразделения или лицо, осуществляющее управление огнем.

Для достижения указанных целей полигонные комплексы выполняют следующие основные функции:

- имитация фоноцелевой обстановки мишенями и техническими средствами полигонного комплекса и их предъявление оператору системы вооружения в любых погодных условиях днем и ночью;
- объективный контроль поражения мишеней;
- обеспечение безопасности и коммуникации при проведении стрельб.

Имитация фоноцелевой обстановки складывается из визуальной, звуковой имитации целей, их действий и эффектов боевой обстановки. Визуальная модель целей должна обеспечивать достаточный уровень подобию мишеней полигонного комплекса имитируемым целям, что позволяет обучать операторов систем вооружения разведке целей и их оценке.

Визуализация целей обеспечивается использованием силуэтных мишеней [7] и, реже, трехмерных макетов и списанных образцов вооружения. Применение силуэтных мишеней оправдано на этапе освоения вооружения, когда основной задачей является обучение оператора системы вооружения (стрелка) основам меткого выстрела и стрельбе в ходе дуэльного боя. Однако при ведении огневого противоборства в составе подразделения (пары, тройки, группы) или при обнаружении нескольких целей встает вопрос об их идентификации, ранжировании по степени важности и опасности и определении порядка поражения. В данном случае по стандартным силуэтным мишеням Курса стрельб, где 2/3 "пехотных" мишеней (№ 5—8) не персонализированы, невозможно однозначно оценить приоритет цели. К примеру, если рассматривать в качестве противника пехотное отделение, то более приоритетная цель — командир отделения — не будет отличаться от рядовых пехотинцев, в результате чего вероятность его первоочередного поражения будет крайне мала ( $p < 0,1$ ).

Важнейшим фактором создания реалистичной фоноцелевой обстановки являются способы имитации действий противника. В существующих полигонных комплексах это реализовано однократным или многократным показом мишеней на различных рубежах, прямолинейным перемещением с фиксированной скоростью, а

также их сокрытием при поражении, истечении установленного времени показа или окончании путепровода. При этом количество движущихся целей, как правило, не превышает 30 %. Очевидно, что такое предъявление мишеней далеко от поведения реальных целей.

Богатый опыт, накопленный в ходе боевых действий, показывает, что норма действий противника включает следующие моменты.

- *Движение пригнувшись неравномерными короткими перебежками* по сложной траектории от укрытия к укрытию с последующим переползанием. Тем не менее до сих пор атакующий (отходящий) противник моделируется в основном движением мишени со скоростью 2—3 м/с на протяжении 60 м (в течение 20—30 с).

В некоторой степени повысить уровень моделирования возможно за счет применения криволинейных путепроводов, импульсного режима движения тележки с автоматическим случайным выбором скоростей и длин "перебежек" и "переползаний", уменьшения времени подъема (опускания) мишени до  $t \leq 1$  с. Однако по-прежнему нерешенными останутся вопросы стационарного расположения путепроводов и их ограниченной длины.

- Действие группами при взаимном прикритии огнем. Ситуация дуэльного боя является относительно редким явлением. Чаше оператор системы вооружения наблюдает одновременно несколько целей (к примеру, как перебегающего, так и прикрывающего его противника), особенно в оборонительном бою. Однако в силу разных причин при обучении преобладает последовательный показ одиночных целей или групповых целей, состоящих из однотипных мишеней, которые в аспекте оценки целей по своей сущности являются одиночными. Это связано с тем, что условия упражнений, с одной стороны, продиктованы содержанием общевойскового боя, а с другой — ограничены номенклатурой, комплектностью и техническими возможностями средств обучения. Так, для минимально адекватного моделирования наступательных действий противника (к примеру, при выполнении упражнений учебных стрельб) одному обучающемуся целесообразно предъявлять группу разнородных мишеней количеством до 4 ед. (в соответствии с организационно-штатной структурой противника) на 3—5 рубежах, причем действия целей между рубежами должны обозначаться движущимися мишенями. Итого получаем 16—32 средние мишенные установки и 1—3 путепровода для одного варианта показа целей на одном направлении стрельбища. Отсюда естественным образом возникает требование к

количеству мишенных установок, которых в существующих комплексах, как видно из табл.1, недостаточно для минимально необходимого уровня имитации эпизода оборонительного боя при выполнении упражнения стрельб даже без учета более насыщенной обстановки для проведения боевых стрельб в составе подразделения (пар, троек, групп).

Исходя из тактики действий огневых групп отделения противника при выполнении учебных и контрольных упражнений стрельб мишени должны предъявляться на каждом рубеже (за исключением ближнего) не одновременно, многократно, в случайном порядке с учетом ранее пораженных мишеней. При этом увеличится количество исполняемых каждой мишенной установкой циклов подъем—опускание, повысится суточный расход заряда автономного источника питания (АИП) и снизится время нахождения в поле, что увеличит трудозатраты на подготовку мишенной обстановки.

- *Немедленное укрытие или (и) смена позиции при обстреле.* Очевидно, что при обстреле любая цель стремится предпринять защитные действия — укрыться и уничтожить (подавить) ответным огнем источник опасности. Поэтому, если не удастся поразить мишень первыми выстрелами, то она должна скрываться и появляться вновь в другом месте. Если данную ситуацию не моделировать, то обучающийся при опускании непораженной мишени полностью сосредотачивается на разведке новой цели, оставляя предыдущую, все еще действующую цель без внимания, в результате чего развивается отрицательный навык, который в реальном бою может привести к негативным последствиям. До настоящего времени такая имитация была технически невозможна. Однако современное развитие технологий акустической локации координат полета пули в окрестности мишени позволяет реализовать данный сценарий, хотя и с некоторыми ограничениями.

- *Ведение ответного огня.* Как показывает практика, уровень готовности оператора системы вооружения к ведению боевых действий определяется не только и не сколько умениями метко стрелять и правильно управлять огнем подразделения, сколько способностью выполнять эти операции под воздействием всего спектра дезорганизующих, психотравмирующих и демобилизующих факторов боевой обстановки [8]. Поэтому особого внимания требует создание у оператора системы вооружения психоэмоционального напряжения путем моделирования психологических условий и особенностей его деятельности в ходе боя. К таким условиям от-

носятся сам факт и результаты ведения противником ответного огня, последствия применения средств поражения, а также другие эффекты, демонстрирующие всю полноту реалий боя. Как видно из табл.2, в полигонных комплексах предусмотрена только имитация ответного огня вспышками лампы. Однако это, скорее, демаскирующий признак, а не средство психоэмоционального воздействия. Дополнительные технические средства, такие, как звуковые имитаторы стрельбы и различные дымогенераторы, практически отсутствуют, имеют низкие моделирующие возможности и неспособны создать у обучающегося психологический образ боевой обстановки, а использование весьма эффективных пиротехнических средств для имитации результатов ответного огня затруднительно по соображениям безопасности.

- *Высокая вариативность действий.* Одним из факторов современного боя является высокая динамичность и непредсказуемость обстановки. Полигонные комплексы прошлых поколений с мишенными установками, управляемыми по проводам и работающими от стационарных электрических сетей, обладали низкими возможностями по созданию разнообразной мишенной обстановки вследствие их привязанности к местам укладки проводов. В таких случаях вариативность обеспечивалась комбинированием последовательности целей и рубежей (дальностей) показа мишеней. При этом места установки мишеней оставались прежними. Для преодоления указанных недостатков в современных комплексах применяют мишенные установки с беспроводными каналами управления и автономными источниками питания, что позволяет существенно сокращать время на смену мишенной обстановки и обеспечивает возможность более оперативно разворачивать полигонные комплексы на неподготовленной в инженерном отношении местности. Однако в полной мере данный вопрос так и остался нерешенным. По-прежнему места размещения мишенных установок требуют предварительной инженерной подготовки для исключения их поражения прямыми попаданиями и рикошетами пуль, т.е. они остаются как бы стационарными, хотя и в значительно меньшей степени, а щитки, применяемые на некоторых установках для их защиты, без инженерного оборудования мест не полностью обеспечивают их сохранность, особенно при обстреле мишени с различных направлений. В результате обучающиеся практически приучаются действовать в условиях одной и той же мишенной обстановки, что не способствует повышению уровня их обученности.

### Анализ временных потерь, влияющих на качество обучения оператора системы вооружения

Дополнительными факторами, оказывающими косвенное влияние на качество обучения, являются потеря времени личным составом на подготовку мишенного поля к стрельбе  $T_n$  и простой оборудования вследствие технических неисправностей и воздействия условий окружающей среды  $T_p$ . Потеря времени на подготовку мишенного поля к стрельбе, как и простой оборудования, в самом общем виде описываются выражением

$$T_{n(p)} = \sum_{i=1}^n \tau_i(a_i, \eta_i), n \in \mathbb{N}, a \in A, \eta \in H, \quad (1)$$

где  $\tau$  — время, затрачиваемое на выполнение  $i$ -й операции, ч;

$A$  — множество выполняемых операций;

$H$  — множество сил и средств, привлекаемых к выполнению операций.

Согласно опыту эксплуатации мишенных комплексов время, используемое для их подготовки к работе, без учета оборудования мест размещения преимущественно затрачивается на вынос и подключение АИП к установкам, вынос и замену разрушенных мишеней, проверку работоспособности мишенной установки, осветителей и имитаторов стрельбы, проверку работоспособности и, при необходимости, настройку датчиков поражения целей, диагностику работы оборудования в ручном и программном режимах.

Из выражения (1) видно, что для достижения минимальных потерь времени ( $T_n \rightarrow \min$ ) необхо-

димо уменьшить количество операций и время их выполнения, а также иметь рациональный потребный наряд сил и средств. Первое условие на данный момент выполняется проведением технической модернизации полигонных комплексов, к примеру резервированием систем питания, автоматизацией диагностических и наладочных процедур, применением в мишенях современных материалов, устойчивых к средствам поражения, и т.д. Второе условие требует проведения организационно-штатных мероприятий. Хорошим решением может служить включение в штат полигона армейских мотовездеходов.

Уменьшение времени простоя оборудования также требует дальнейшего улучшения технических характеристик полигонных комплексов для обеспечения их всепогодного применения. Значительная часть территории России относится к арктическому, холодному и очень холодному климатическим районам. Так, средняя месячная температура в январе в западном арктическом климатическом районе составляет от минус 28 до минус 30 °С, в холодном — от минус 15 до минус 30 °С, в очень холодном — от минус 30 до минус 50 °С [9]. Из табл.1 видно, что заявленные производителями полигонных комплексов температурные режимы не позволяют их круглогодично использовать по назначению, что является существенным недостатком.

Недостаточный максимальный момент на валу мишенных установок также становится причиной срывов учебных занятий в ветреную погоду. Для оценки возможности работы мишенных установок в условиях различной ветровой обстановки проведено численное моделирование для некоторых мишеней, результаты которого представлены в табл.3.

Таблица 3

Расчетные значения момента силы на валу мишенной установки

| № ми-<br>шени | Суммарный момент силы, Н·м |        |       |       |       |                            |        |        |        |        |                            |        |        |        |        |
|---------------|----------------------------|--------|-------|-------|-------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
|               | Скорость ветра 6 м/с       |        |       |       |       | Скорость ветра 8 м/с       |        |        |        |        | Скорость ветра 10 м/с      |        |        |        |        |
|               | Угол наклона мишени, град. |        |       |       |       | Угол наклона мишени, град. |        |        |        |        | Угол наклона мишени, град. |        |        |        |        |
|               | 30                         | 45     | 60    | 75    | 90    | 30                         | 45     | 60     | 75     | 90     | 30                         | 45     | 60     | 75     | 90     |
| 8             | 31,5                       | 28,7   | 24,2  | 18,0  | 10,7  | 33,6                       | 32,6   | 30,0   | 25,4   | 18,9   | 36,3                       | 37,7   | 37,5   | 34,8   | 29,6   |
| 11            | 53,5                       | 50,0   | 44,2  | 36,8  | 27,2  | 58,7                       | 59,2   | 57,5   | 54,5   | 48,4   | 65,3                       | 71,0   | 74,7   | 77,3   | 75,5   |
| 12            | 626,7                      | 579,7  | 519,7 | 442,2 | 349,0 | 679,7                      | 675,7  | 673,0  | 656,3  | 620,4  | 747,8                      | 799,2  | 870,2  | 931,5  | 969,4  |
| 12a           | 1121,8                     | 1070,4 | 972,2 | 841,9 | 681,4 | 1244,7                     | 1290,8 | 1295,7 | 1272,8 | 1211,3 | 1402,7                     | 1574,2 | 1711,5 | 1826,7 | 1892,7 |
| 14г           | 300,9                      | 277,0  | 243,7 | 200,5 | 156,4 | 326,5                      | 322,2  | 312,8  | 294,1  | 278,0  | 359,4                      | 380,3  | 401,7  | 414,5  | 434,4  |
| 17            | 209,9                      | 187,5  | 153,8 | 111,1 | 61,0  | 222,8                      | 210,5  | 186,6  | 152,5  | 108,3  | 239,3                      | 240,1  | 228,7  | 205,8  | 169,3  |

Исходными данными для расчета являлись:

- геометрические размеры мишеней в соответствии с данными, представленными в Курсе стрельб [7];
- толщина фанерных листов и размер бруса, используемых для изготовления мишеней (соответственно 4 и 50 мм);
- скорость ветра 6–10 м/с, т. к. в соответствии с [10] математическое ожидание скорости ветра (в зависимости от местоположения и времени года) в России составляет  $v_{\text{сред}} = 4,4\text{—}6,2$  м/с со среднеквадратичным отклонением  $\sigma = 5\text{—}8,9$  м/с;
- наличие атмосферных осадков не учитывалось;
- сила тяжести мишеней и ветровая нагрузка считались приложенными в одной точке;
- плечом приложения сил считалось расстояние от оси вала до центра масс мишени.

Сравнительный анализ данных, приведенных в табл. 2,3, показал, что средние мишенные установки способны работать при скорости ветра до 10 м/с, а тяжелые установки уже при скорости 8 м/с не способны поднять крупногабаритную мишень с большой площадью поверхности, что не только приводит к вынужденному простоям оборудования, но и в принципе делает невозможным соблюдение условий отдельных

упражнений. Курса стрельб в таких погодных условиях.

В табл.3 представлены данные для температуры окружающей среды минус 20 °С и отсутствие атмосферных осадков. Однако дополнительный расчет показал, что при температуре минус 20 °С сила ветра возрастает в 1,1–1,15 раза, что дополнительно ограничивает условия применения рассматриваемых мишенных установок.

### Заключение

Таким образом, структура и технические возможности современных полигонных комплексов выступают источником серьезных допущений при обучении операторов систем вооружения. Данные допущения могут быть оправданы и приемлемы на начальных этапах обучения. Однако при последующем обучении в создаваемых модельных условиях, неоправданно далеких от реальности, они приводят к формированию и поддержанию у обучающихся навыков, которые по своей сути являются ложными. Преодоление рассмотренной проблемной ситуации в рамках традиционных подходов не представляется возможным. Следовательно, необходима разработка принципиально новой концепции развития полигонных комплексов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по учебно-материальной базе Вооруженных Сил Российской Федерации: приложение к приказу Министра обороны Российской Федерации от 30.12.2017 № 838. — М., 2017. — 51 с.
2. Оружие и технологии России. Энциклопедия XXI век. Т.18. Тренажеры и технические средства обучения / под общ. ред. Сердюкова А. — М.: Изд. дом "Оружие и технологии", 2009. — 624 с.
3. Комплекс автоматизированного полигонного оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://rusbitech.ru/products/tks/krao> (дата обращения: 30.11.2021).
4. Оборудование для полигонов и стрельбищ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polygon-factory.ru/products/polygon> (дата обращения: 30.11.2021).
5. Мобильный комплект полигонного оборудования [Электронный ресурс]. URL: [http://niigeo.ru/images/files/1-25\\_arms.pdf](http://niigeo.ru/images/files/1-25_arms.pdf) (дата обращения: 30.11.2021).
6. Комплекты стрельбищного оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://poligon-services.ru/production/equipment> (дата обращения: 30.11.2021).
7. Курс стрельб из стрелкового оружия, боевых машин и танков Воздушно-десантных войск. Введен в действие приказом командующего Воздушно-десантными войсками от 23.12.2017 № 442 / под общ. ред. генерал-лейтенанта Холзакова А. В. — М., 2018. — 440 с.
8. Корчемный П. А. и др. Военная психология: методология, теория, практика: учеб. пособие. — М.: Воениздат, 2010. — 340 с.
9. ГОСТ 16350—80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. Введ. 01.07.1980. — М.: Госстандарт СССР, 1985. — 221 с.
10. ГОСТ 24728—81 Ветер. Пространственное и временное распределение характеристик. Введ. 30.04.1981. — М.: Госстандарт СССР, 1981. — 89 с.

## **ANALYSIS OF COMPLIANCE OF TARGET SYSTEMS WITH THE TASKS OF FIRE TRAINING OF AIRBORNE TROOPS UNITS**

*M. A. Filippov*

Ryazan The Guards Higher Airborne Command School, Ryazan, Russia

*The relevance of the article is justified by the wide use of target systems in the training of military personnel. It is shown that their structure and technical capabilities are a source of serious restrictions that lead to the formation of false skills. It is concluded about the need to develop a concept for the development of target systems.*

*Keywords:* target mechanisms, target systems, technical means of training, mastering the weapon system.

Bibliography — 10 references.

*Received February 14, 2022*



Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2022. Вып. 1. С. 1—60.

Редактор *О. А. Константинова*

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

Подписано в печать 23.03.2022.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1991.

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 2022 г.  
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

| Наименование издания  | Периодичность в год | Цена 1 экз., руб. | Кол-во выпусков в год | Общая сумма, руб. |
|---|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России         | 4                   | 1550,00           |                       |                   |
| Конструкции из композиционных материалов                          | 4                   | 1700,00           |                       |                   |
| Экология промышленного производства                               | 4                   | 1500,00           |                       |                   |
| Информационные технологии в проектировании и производстве         | 4                   | 1750,00           |                       |                   |
| Вопросы защиты информации   | 4                   | 1750,00           |                       |                   |
| <i>В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.</i> |                     |                   |                       |                   |

*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](mailto:secretariat@ntckompas.ru)

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

8 (495) 491-43-17.

E-mail: [ivleva@ntckompas.ru](mailto:ivleva@ntckompas.ru)

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

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».