

ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ



- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

- ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ
И ИЗМЕРЕНИЯ



1'2023



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

1 ОБОРОННЫЙ (157) КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Шармаев В. И. Использование сетевых приманок с низким и высоким уровнем взаимодействия как средства обнаружения трафика злоумышленника в телекоммуникационной сети..... 3

Заяц Ю. А., Заяц Т. М., Филиппов М. А. Информационная модель безмишенного полигонного стрелкового комплекса..... 9

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жиленков А. А., Рачёв Н. П. Исследование современного состояния отечественных и зарубежных систем аэрогеоразведки..... 17

Гайворонский О. В., Спирыгин В. В., Бычихин И. П., Смирнов М. Р., Голенко П. М., Трехлебов А. С., Спирыгин В. В. Исследование сходимости результатов расчетного и экспериментального методов определения уровня звукового давления БПЛА при различных расстояниях от наблюдателя..... 22

Билецкая В. В., Жеребин А. М., Топорова М. И., Широков А. И. Обоснование оптимальной размерности беспилотного летательного аппарата для решения задачи обнаружения пожа-

ров в лесном массиве. *Часть 1.* Мониторинг сектора лесного массива заданного размера 28

Бабкин А. В., Пузанов А. В., Куликов О. Е., Векшина Т. М. Исследования пределов скоростного форсирования стабилизированного объекта с учетом упругости элементов конструкции..... 35

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

Савин Д. А., Сгибнев А. К. Моделирование работы радиолокационной станции сопровождения..... 40

Зотов М. М., Жиленков А. А. Передовые решения в области складских автономных робототехнических систем 46

Латышев К. В. Волновые технологии в системах сенсорной телеметрии (сигнального радиовидения) 53

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Барсуков А. Г., Рукина О. А. О совершенствовании инновационной деятельности в России 58

Главный редактор

И. А. Шеремет, акад. РАН, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь — К. В. Трыкина,

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

Редакционная коллегия:

В. И. Борисов, акад. РАН, проф., научный руководитель — зам. генерального директора по научной работе ОАО «Концерн «Созвездие»; **Б. А. Григорьев**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, научный руководитель Центра исследований пластовых систем и технологического моделирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ», зав. кафедрой «Исследование нефтегазовых пластовых систем» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **С. Ю. Желтов**, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»; **И. А. Каляев**, акад. РАН, 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»; **В. Е. Лукашук**, канд. техн. наук, директор ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»; **Ю. И. Маевский**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор систем и средств РЭБ — зам. генерального директора по инновациям и научной работе ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии»; **Б. В. Обносков**, д-р техн. наук, проф., действительный член РАН, генеральный директор — генеральный конструктор ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»; **В. В. Рыжиков**, 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 004.725

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_3

EDN: QSOLTG

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ПРИМАНOK С НИЗКИМ И ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ТРАФИКА ЗЛОУМЫШЛЕННИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В. И. Шармаев

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

Приведено подробное описание сетевых приманок (honeypots) как средства обеспечения сетевой безопасности, описаны основные требования к их архитектуре, раскрыты основные различия приманок с низким и высоким уровнем взаимодействия. В программной среде Node.js была реализована программно-конфигурируемая сеть, в которой разрешены FTP-, Telnet-, HTTP- и HTTPS-соединения, а также создана имитация протокола взаимодействия Ident. С помощью инструмента Nmap проведено сканирование сети, а затем проанализированы его результаты (успешно установленные соединения, полученные сообщения, обнаруженные эмуляции протоколов, результаты определения операционной системы сервера по отпечаткам стека протоколов TCP/IP). На основании полученных результатов предложены рекомендации по использованию как приманок с низким уровнем взаимодействия, так и приманок с высоким уровнем взаимодействия. Результаты данного исследования можно использовать при проектировании надежных сетей, способных предотвращать, обнаруживать и реагировать на вторжения злоумышленника.

Ключевые слова: honeypot, honeynet, сетевая безопасность, сетевые приманки, телекоммуникационные сети.

Одновременно с развитием вычислительных сетей и появлением новых технологий передачи и хранения информации появляются также и новые автоматизированные инструменты атаки, при столкновении с которыми традиционные технологии обеспечения безопасности оказываются неэффективными. Предотвращение, обнаружение и реагирование на вторжения без нарушения работы системы является серьезной проблемой сетевой безопасности.

Большинство сетевых анализаторов неспособны обнаружить неизвестные, новые по своему характеру вторжения, а классические средства безопасности, такие, как брандмауэр и IDS (Intrusion Detection System, система обнаружения вторжений), полностью пассивны, поскольку их задачей является предотвращение или обнаружение атак [1]. Решить эту проблему возможно путем создания контролируемой среды, анало-

гичной системе обслуживания, но нацеленной на привлечение внимания злоумышленников для получения информации о вторжениях нового типа, отличающихся своей моделью.

Вычислительные ресурсы сети, используемые исключительно для привлечения внимания злоумышленников и регистрации данных об атаках, называются сетевыми приманками (honeypots) [2]. Приманка может представлять собой как эмулируемое приложение, так и полнофункциональную операционную систему или реальную сеть, преднамеренно спроектированную небезопасной, чтобы побудить злоумышленников продемонстрировать свои методы, инструменты и мотивы.

Журналы брандмауэра, оповещения IDS могут регистрировать большое количество атак, и значительный процент этих атак фактически будет "шумовым", не представляющим опасности для сети [3]. При большом объеме "шума" может быть сложно обнаружить присутствие злоумышленника, обладающего навыками и намерением проникнуть в сеть организации. Иными по характеру являются сведения о трафике, полученные от приманки (любой трафик, направляемый в приманку или исходящий

Шармаев Вадим Игоревич, аспирант, инженер НИО-402.
E-mail: vadidq@ya.ru

Статья поступила в редакцию 16 января 2023 г.

© Шармаев В. И., 2023

из нее), соответственно, сведения об этом трафике представляют собой особенную ценность и критически полезны при наблюдении и анализе процесса атаки.

Теоретическая часть

Главным принципом сетевой архитектуры приманок является принцип открытости входящих соединений [4]. Исходящие соединения при этом могут либо блокироваться, либо контролироваться, поскольку соединения, инициированные из приманки, вероятно, будут использованы для атаки на основную систему. Например, может быть определено пороговое значение для исходящих соединений либо другие параметры, проанализировав которые, можно было бы определить, следует ли блокировать исходящее соединение или нет. Таким образом, осуществляется управление маршрутизацией и блокированием пакетов, способных оказать воздействие на систему за пределами приманки.

По типу используемого программного (или программно-аппаратного) обеспечения можно выделить приманки с низким уровнем взаимодействия (проектируются как программные процессы, имитирующие поведение операционных систем и сетевых служб) и приманки с высоким уровнем взаимодействия (проектируются как реальные операционные системы с реальными уязвимостями) [5].

В первом случае действия злоумышленника естественным образом изолируются в рамках программного обеспечения. Приманка может выглядеть, например, как TSP-порт, эмулированный для сбора отпечатков пальцев операционной системы [6]. Преимуществом такого подхода является тот факт, что атаки, нацеленные на компрометацию этого сервера, в лучшем случае приведут к имитации компрометации приманки, а не операционной системы хоста, в худшем случае (если уязвимость не реализована в приманке) злоумышленник потерпит неудачу. Недостатки приманок с низким уровнем взаимодействия обусловлены теми же свойствами, что и преимущества. По определению, никакая эмуляция операционной системы и ее сетевых служб с низким уровнем взаимодействия не может быть полной. Несмотря на то, что можно эмулировать ответы, которые злоумышленник ожидает получить, приманка с низким уровнем взаимодействия не будет точно реагировать на запросы, для которых явно не эмулировали ответы [7]. Это ограничивает способность приманки помогать в обнаружении новых уязвимостей

или новых моделей атак, использующих известные уязвимости. Приманки с низким уровнем взаимодействия — это простой и относительно безопасный способ сбора данных о частоте и источнике известных атак.

Чем больше свободы у злоумышленника в ходе взаимодействия с системой-приманкой, и чем ближе приманка ведет себя к производственной системе, тем точнее действия злоумышленника в этой приманке будут представлять истинные намерения и действия злоумышленника, которые могли бы иметь место [8]. Ограничения, налагаемые приманкой на действия злоумышленника в целях контроля данных, могут сообщить о том, что система является приманкой. Как только эти ограничения вступают в силу, объем регистрируемой информации, полезной для создания профиля атаки, уменьшается. Приманки с высоким уровнем взаимодействия представляют собой реальные операционные системы и сетевые службы, практически не ограничивающие действия злоумышленника, и, соответственно, могут предоставить больше данных о методах, инструментах и мотивах атакующего.

Методология

Для демонстрации применения приманок с низким уровнем взаимодействия и высоким уровнем взаимодействия в программной среде Node.js была реализована программно-конфигурируемая сеть, в которой были открыты для входящих соединений следующие порты:

1. *Порт 21* с протоколом взаимодействия FTP, реализованным с помощью модуля Ftpd. В качестве разрешенных команд указаны все возможные команды, в качестве логина и пароля для подключения к серверу была указана комбинация "admin:admin". При подключении к порту клиенту отправляется сообщение "Command not implemented", но соединение не разрывается и в консоль сервера выводятся сведения об адресе клиентского устройства.

2. *Порт 23* с протоколом взаимодействия Telnet, реализованным с помощью модуля Telnet. При подключении к порту в консоль устройства-хоста выводятся сведения об адресе клиентского устройства, полученные сообщения, а также сведения об установленном размере окна (например, 80×24).

3. *Порт 80* с протоколом взаимодействия HTTP, реализованным с помощью модуля Express. При каждом входящем запросе в консоль устройства-хоста выводятся сведения об

адресе клиентского устройства, а также заголовки запроса. На все входящие запросы сервер отвечает сообщением "Запрос получен сервером".

4. Порт 113 с имитацией протокола взаимодействия Ident, реализованной с помощью модуля Net. При подключении к порту в консоль устройства-хоста выводятся сведения об адресе и порте клиентского устройства, а также полученные сообщения.

5. Порт 443 с протоколом взаимодействия HTTPS, реализованным с помощью модуля HTTPS и Express. В качестве сертификата TLS/SSL-соединения использован самоподписанный сертификат, созданный с помощью криптографической библиотеки OpenSSL. При каждом входящем запросе в консоль устройства-хоста выводятся сведения об адресе клиентского устройства, а также заголовки запроса. На все входящие запросы сервер отвечает сообщением "Запрос получен сервером".

Контроль данных и сбор данных — это два основных требования, предъявляемых ко всем видам приманок, поэтому события регистрируются в консоли устройства-хоста, защищенной от манипуляции.

После запуска всех сетевых служб было выполнено агрессивное сканирование всех портов инструментом Nmap (команда -A). Агрессивный режим сканирования, в отличие от стандартного режима, позволяет установить операционную систему устройства и версии сетевых служб [9].

Результаты

Так как сетевые службы были настроены на журналирование всех событий в консоли устройства-хоста, удалось собрать значительное количество сведений о характере соединений, устанавливаемых сканером Nmap, а также увидеть отправляемые им сообщения.

В результате сканирования были обнаружены все сетевые службы и определены используемые протоколы (рис. 1, слева).

Для протокола FTP были определены реализованные команды сервера. Для протокола HTTP, как и для протокола HTTPS, был установлен факт использования фреймворка Express и программной среды Node.js. Для TLS/SSL-соединения были получены данные цифрового сертификата безопасности (доменное имя, название организации, город, код страны, DNS-записи, дату выдачи сертификата и дату окончания сертификата).

Кроме того, в результате HTTPS и HTTPS-соединений инструментом Nmap была успешно установлена операционная система сервера на основании отпечатков стека протоколов TCP/IP (рис. 1, справа).

Эмуляция протокола (протокола Ident, порт 113) была обнаружена при сканировании, в частности, из-за невозможности определить операционную систему по отпечаткам стека протоколов TCP/IP (рис. 2).

```

Starting Nmap 7.93 ( https://nmap.org ) at 2022-11-21 17:19 MSK
PORT      STATE SERVICE VERSION
21/tcp    open  ftp
| fingerprint-strings:
|   GenericLines, Help, SMBProgNeg, SSLSessionReq:
|     220 FTP server (nodeftpd) ready
|     Command not implemented.
|   NULL:
|_    220 FTP server (nodeftpd) ready
23/tcp    open  telnet
80/tcp    open  http      Node.js Express framework
|_ http-title: Site doesn't have a title (text/plain; charset=utf-8).
113/tcp   open  ident?
443/tcp   open  ssl/http  Node.js (Express middleware)
|_  tls-alpn:
|_    http/1.1
|_ ssl-date: TLS randomness does not represent time
|_ ssl-cert: Subject: commonName=localhost/organizationName=Organization Name/stateOrProvinceName=State/countryName=RU
|_ Subject Alternative Name: DNS:www.localhost.com, DNS:localhost.com, DNS:localhost
|_ Not valid before: 2022-11-20T14:37:15
|_ Not valid after:  2023-11-20T14:37:15

TCP/IP fingerprint:
OS:SCAN(V=7.93%E=4%D=11/21%OT=21%CT=1'
OS:C5%P=x86_64-apple-darwin21.5.0)SEQ
OS:%TS=22)OPS(O1=M3FD8NW6NNT11SL%02=
OS:3FD8NW6NNT11SL%05=M3FD8NW6NNT11SL
OS:%W3=FFFF%W4=FFFF%W5=FFFF%W6=FFFF)E
OS:CC=N%Q=)T1(R=Y%DF=Y%T=40%S=O%A=S+%
OS:T=40%W=0%S=A%A=Z%F=R%O=%RD=0%Q=)T
OS:D=0%Q=)T6(R=Y%DF=Y%T=40%W=0%S=A%A=
OS:S=Z%A=S%F=AR%O=%RD=0%Q=)U1(R=Y%DF=
OS:Z%RUCK=0%RUD=G)IE(R=Y%DFI=S%T=40%CI

```

Рис. 1. Результаты сканирования сети с помощью инструмента Nmap

```
No exact OS matches for host (If you know what OS is running on it, see http
s://nmap.org/submit/ ).
TCP/IP fingerprint:
SF-Port113-TCP:V=7.93%I=7%D=11/21%Time=637B88FE
SF:0%r(GenericLines,24,"\xd0\xa1\xd0\xbe\xd0\xbe\xd0\xb1\xd1\x89\xd0\xb5\x
SF:d0\xbd\xd0\xb8\xd0\xb5\x20\xd0\xbf\xd0\xbe\xd0\xbb\xd1\x83\xd1\x87\xd0\
SF:b5\xd0\xbd\xd0\xbe\n")%r(GetRequest,24,"\xd0\xa1\xd0\xbe\xd0\xbe\xd0\x
SF:b1\xd1\x89\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\xb8\xd0\xb5\x20\xd0\xbf\xd0\xbe\xd0\xbb\
SF:d1\x83\xd1\x87\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\xbe\n")%r(Help,24,"\xd0\xa1\xd0\xbe
SF:\xd0\xbe\xd0\xb1\xd1\x89\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\xb8\xd0\xb5\x20\xd0\xbf\xd
SF:0\xbe\xd0\xbb\xd1\x83\xd1\x87\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\xbe\n")%r(HTTPOptions
SF:,24,"\xd0\xa1\xd0\xbe\xd0\xbe\xd0\xb1\xd1\x89\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\xb8\x
SF:d0\xb5\x20\xd0\xbf\xd0\xbe\xd0\xbb\xd1\x83\xd1\x87\xd0\xb5\xd0\xbd\xd0\
SF:-----
```

Рис. 2. Отпечаток стека протоколов TCP/IP для эмуляции протокола Ident

Также в процессе сканирования были собраны все сообщения, полученные сетевыми службами (рис. 3). При использовании приманок в реальной системе анализ таких сообщений мог бы сообщить о том, какие цели преследовал злоумышленник и какими инструментами он пользовался. В случае эмуляции протокола Ident, сообщения получить не удалось — Nmap разорвал соединение после возникновения ошибок, несвойственных протоколу Ident.

```
Установлено TLS-соединение с 192.168.1.64:65467
Установлено Telnet-соединение с 192.168.1.64 23
Установлено TCP-соединение с 192.168.1.64:65470
Установлено FTP-соединение с 192.168.1.64
От клиента получено сообщение: GET / HTTP/1.0
отправитель - 192.168.1.64, порт - 65470
Сообщение отправлено клиенту
От клиента получено сообщение: ENLO
, отправитель - 192.168.1.64, порт - 65467
Сообщение отправлено клиенту
Установлено TCP-соединение с 192.168.1.64:65473
Установлено Telnet-соединение с 192.168.1.64 23
От клиента получено сообщение: HELP
, отправитель - 192.168.1.64, порт - 65473
Сообщение отправлено клиенту
От клиента получено сообщение: GET / HTTP/1.0
```

Рис. 3. Журнал событий сервера

Собранные сведения также могут быть использованы для получения статистических данных о частоте, объеме, типе и происхождении попыток атак.

Благодаря заголовкам HTTP-запросов удалось определить программное обеспечение, используемое при создании соединений — Mozilla/5.0 (compatible; Nmap Scripting Engine). Программное обеспечение представляет собой скриптовый движок Nmap, позволяющий писать на программном языке Lua собственную дополнительную функциональность для сканера портов Nmap [10].

Обсуждение

В случае приманки с низким уровнем взаимодействия, злоумышленник либо обнаружит факт отслеживания его действий, либо будет занят поиском причины ошибок и аномалий, с которыми он столкнется, или примет другой план действий, что затруднит определение его истинных целей и мотивов. В частности, инструмент Nmap при обнаружении ошибок, несвойственных протоколу, разрывает установленное соединение, не отправляя никаких сообщений серверу.

Приманки с высоким уровнем взаимодействия могут с большей вероятностью получить ценную информацию о злоумышленнике, включая используемые им методы и программные инструменты. Имея реальную операционную систему для взаимодействия, злоумышленник может продолжить атаку дальше, в отличие от случая с приманкой с низким уровнем взаимодействия, и, соответственно, может продемонстрировать свои истинные намерения (например, получение базы данных клиентов) или дать информацию, которая может привести к его злоумышленника (например, адрес электронной почты). В проведенном исследовании было определено используемое программное обеспечение, адрес устройства, инициирующего соединения, а также получены входящие сообщения.

Также необходимо отметить, что злоумышленник, получивший контроль над приманкой, получает очень разносторонние возможности, если они не были предварительно ограничены системой защиты. С другой стороны, эффективные, жесткие ограничения потенциально могут предупредить злоумышленников о возможности наблюдения за ними. В реализованной системе все сетевые службы изолированы, а все исходящие соединения блокируются. Дальнейшим усовершенствованием системы может быть разре-

шение исходящих соединений и создание специального экрана, называемого "медовой стеной" (honeypot), позволяющего либо блокировать соединения, либо исказить их таким образом, чтобы предотвратить возможную атаку (например, атаку "отказ в обслуживании") [11].

Заключение

Приманки с низким уровнем взаимодействия позволяют безопасным способом собрать статистические данные о частоте и источнике известных атак на систему, однако не позволяют обнаружить неизвестные, новые по своему характеру вторжения. Чтобы дать злоумышленнику более реалистичный опыт и собрать больше информации о предполагаемых атаках, приманки с высоким уровнем взаимодействия используют настоящие операционные системы, а не эмуляции.

Хотя приманки с высоким уровнем взаимодействия способны собирать те же статистические данные, что и приманки с низким уровнем взаимодействия, истинная ценность заключается в данных, собранных о злоумышленниках: их методах, инструментах и мотивах. Приманки с высоким уровнем взаимодействия особенно полезны в ситуациях, когда нужно получить сведе-

ния об уязвимостях, которые еще не известны широкой публике, но используются небольшим числом злоумышленников (уязвимости "нулевого дня") [12].

Продемонстрирован пример внедрения приманок с низким уровнем взаимодействия (эмуляция протокола Ident) и высоким уровнем взаимодействия (FTP-, Telnet-, HTTP-, HTTPS-соединения), а также проведено сканирование созданной программно-конфигурируемой сети инструментом Nmap. Эмуляция протокола Ident была обнаружена при сканировании, в то время как приманками с высоким уровнем взаимодействия было определено используемое программное обеспечение, адрес клиентского устройства, восстановлена последовательность соединений с сетевыми службами, а также собраны все входящие сообщения.

Важно понимать, что по мере того, как приманки становятся все более популярными, требуется приложить больше усилий, чтобы сделать их менее обнаруживаемыми, одновременно повышая безопасность механизмов управления данными и регистрации, чтобы гарантировать, что приманки сохранят свою полезность в качестве инструментов обнаружения вредоносного трафика в сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмакин А. О., Воробьев Э. А., Гохович В. А. IDS-системы обнаружения вторжений // Синергия Наук. 2020. № 44. С. 476—484.
2. Гаврилов А. Л., Орехов Д. Н., Соколовский С. П. Способы снижения информативности демаскирующих признаков средств проактивной защиты вычислительных сетей // Электронный сетевой полиграфический журнал "Научные труды КубГТУ". 2018. № 3. С. 211—220.
3. Базарова И. А. Анализ сравнительных характеристик систем защиты сетей IDS и IPS // Информационные технологии в управлении и экономике. 2021. № 3. С. 56—61.
4. Поляков В. В., Лапин С. А. Архитектура системы Honeypot для изучения целевых атак // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2018. 2018. С. 173—176.
5. Газизов А. А. Honeypot: концепции и типы // Молодежный научный форум. 2019. — 67 с.
6. Ишкватов С. М., Комаров И. И. Анализ аутентичности трафика на основании данных цифровых отпечатков реализаций сетевых протоколов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 5. С. 747—754.
7. Архипова А. Б., Каревский Д. Р. Honeypot как инструмент создания эффективной защищенной системы // Безопасность цифровых технологий. 2021. № 2. С. 122—135.
8. Tsikerdekis M. et al. Approaches for preventing honeypot detection and compromise // 2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS). — IEEE, 2018. P. 1—6.
9. Nmap Network Scanning. Chapter 7. Service and Application Version Detection. Usage and Examples // Nmap: the Network Mapper — Free Security Scanner [Электронный ресурс]. URL: <https://nmap.org/book/vscan-examples.html> (дата обращения: 26.11.2022).
10. Malkawi M., Özyer T., Alhajj R. Automation of active reconnaissance phase: an automated API-based port and vulnerability scanner // Proceedings of the 2021 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. 2021. P. 622—629.
11. Mayorga F. et al. Honeypot network configuration through cyberattack patterns // 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS). — IEEE, 2019. P. 150—155.
12. Кузнецова А. В., Вялых С. А. Оценка защищенности информационных систем от уязвимостей нулевого дня // Сборник студенческих научных работ факультета компьютерных наук ВГУ. 2019. С. 111—116.

USE OF NETWORK HONEYPOTT WITH LOW AND HIGH LEVEL OF INTERACTION AS A METHOD OF DETECTING MALICIOUS TRAFFIC IN A TELECOMMUNICATION NETWORK

V. I. Sharmaev

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

The article provides a detailed description of network honeypots (honeypots) as a means of ensuring network security, describes the main requirements for their architecture, and reveals the main differences between honeypots with a low and high level of interaction. In the Node.js software environment, a software-defined network was implemented in which FTP, Telnet, HTTP, and HTTPS connections are allowed, and an imitation of the Ident interaction protocol was created. With the help of the Nmap tool, a network scan was carried out, and then its results were analyzed (successfully established connections, received messages, detected protocol emulations, results of determining the server operating system using TCP/IP protocol stack fingerprints). Based on the results obtained, recommendations are proposed for the use of both baits with a low level of interaction and baits with a high level of interaction. The results of this study can be used to design reliable networks that can prevent, detect, and respond to intruders.

Keywords: honeypot, honeynet, network security, deception, telecommunication networks.

Bibliography — 12 references.

Received January 16, 2023

УДК 681.3

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_9

EDN: QSXXVS

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БЕЗМИШЕННОГО ПОЛИГОННОГО СТРЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА

Ю. А. Заяц, д-р техн. наук; Т. М. Заяц, канд. техн. наук;

М. А. Филиппов, канд. техн. наук

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

Большие затраты на функционирование существующих полигонных стрелковых комплексов, низкое соответствие сценариев обуславливают исследования по разработке безмишенных систем. В результате исследования сформированы основные принципы построения и разработана информационная модель полигонного стрелкового комплекса безмишенного типа, сущность которой составляет взаимосвязь потоков информации и операторов ее обрабатывающих.

Ключевые слова: стрелковый полигон, стрелковый комплекс, полигонное оборудование полигонного стрелкового комплекса, информационная модель.

Подготовка военнослужащих к боевым условиям — сложный процесс, включающий психологическую, моральную, специальную стрелковую подготовку. Всё это наиболее эффективно формируется на специальных стрелковых комплексах, позволяющих имитировать различные реальные ситуации современного боя, отрабатывать технику стрельбы в сочетании с психологической подготовкой.

Полигоны являются основой учебной материально-технической базы войск и предназначены для качественного обеспечения задач боевой подготовки, достижения высокой выучки и психологической закалки личного состава соединений, воинских частей, подразделений видов и родов войск Вооруженных Сил Российской Федерации. Они должны отвечать современным требованиям боевой подготовки, иметь высокую техническую оснащенность, необходимую пропускную способность и обеспечивать эффективность проведения занятий, при этом обеспечи-

вать выполнение требований безопасности, охраны жизни и здоровья людей, экологической безопасности и рациональному природопользованию.

Опыт военных конфликтов и войн последних десятилетий показывает возрастающую роль применения мобильных групп (как правило тактических формирований на базе специальных и разведывательных подразделений), оснащенных легким вооружением. Для таких подразделений основными факторами, определяющими победу в огневом противоборстве, являются умелое использование личным составом огневых возможностей своего вооружения, самостоятельное, скоординированное огневое взаимодействие между отдельными военнослужащими и эффективность действий командиров по управлению огнем подразделений.

Рассматривая существующие полигонные стрелковые комплексы (ПСК), следует отметить, что они уже во многом не отвечают требованиям по обучению военнослужащих основам и тактике стрельбы, так как имеют низкий уровень подобия информационной модели условиям боевой обстановки, кроме того, отсутствуют эффективные методы обучения управлению огнем подразделений, что в конечном счете, снижает качество обучения.

Цель — исследования разработка информационной модели ПСК безмишенного типа, как элемента единого научно-методического аппарата, необходимого для создания высокоэффективных полигонных комплексов нового поколения, предназначенных для освоения систем вооружения личным составом ВС РФ.

Заяц Юрий Александрович, профессор, профессор кафедры "Математические и естественно-научные дисциплины".

E-mail: sajua@yandex.ru

Заяц Татьяна Михайловна, доцент, доцент кафедры математических и естественно-научных дисциплин.

E-mail: sajtm@yandex.ru

Филиппов Максим Александрович, докторант.

E-mail: air_bt@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2023 г.

© Заяц Ю. А., Заяц Т. М., Филиппов М. А., 2023

В качестве объекта исследования выбран ПСК безмишенного типа. Предмет исследования — информационные процессы функционирования ПСК безмишенного типа.

Анализ существующих и перспективных полигонных стрелковых комплексов

Учитывая важность задач, решаемых с использованием ПСК, как в Российской Федерации, так и за рубежом ведутся работы по их совершенствованию. Анализ производимого оборудования [1—4] показал, что для большинства стран тенденции и направления его развития в целом одинаковы:

- замена аналоговых устройств на цифровые;
- переход к беспроводным каналам управления мишенными установками;
- использование динамических (механических, оптических и т. д.) систем активации мишеней;
- снижение массы, размеров, повышение количества циклов показа (сокрытия) мишени от одного заряда автономного источника питания и т. д.;
- совершенствование методов локализации точки попадания боеприпаса в мишень, что повышает удобство процесса обучения при решении узкого круга стрелковых задач;
- повышение устойчивости мишеней к поражающим элементам боеприпасов;
- повышение мобильности и автономности ПСК.

Проведенные патентные исследования [5—10] показали, что разработки, связанные с безмишенными ПСК, отсутствуют. Основной вектор усилий направлен на совершенствование мишенных установок. Однако это не решает главного противоречия — необходимости фиксации результата выстрела по цели и высокой стоимости и неидентичности мишени реальной цели.

К основным недостаткам существующих ПСК относят необходимость применения мишенных установок, что приводит к:

- высокому уровню затрат на приобретение и содержание мишенных установок;
- низкой приспособленности к развертыванию на неподготовленной местности;
- высокой трудоемкости, связанной с инженерной подготовкой мест размещения мишенных установок; установку и снятие мишенных установок, автономных источников питания, обеспечивающих их работу; изготовление мишеней;

- ограниченным возможностям по обучению тактическим приемам ведения огня мотострелковых подразделений в связи с низким уровнем соответствия реальных целей мишеням полигонного оборудования, в том числе невозможность вести огонь по замаскированным целям;

- ограниченным возможностям при обучении управлению огнем подразделений;
- однообразным условиям местности при проведении учебных стрельб;
- ограниченному количеству мишенных установок в одном комплексе (комплекте).

Кроме того, существующие мишенные комплексы имеют невысокую надежность, ограниченную транспортабельность и автономность.

При создании безмишенных полигонных систем необходимо решить ряд задач [11], в том числе в рамках решения задачи архитектуры построения ПСК необходимо разработать информационную модель:

1. Определить траекторию полета пули с учетом погодных условий.
2. Определить цель для стрелка в единой системе координат.

Очевидно, что, зная точную траекторию полета пули в системе координат выбранной цели можно определить координаты пересечения баллистической траектории полета пули с областью цели, а, следовательно, оценить степень поражения цели при выстреле.

Анализ патентов [12—14], связанных с разработкой технических решений по определению баллистических характеристик пули, показал, что они несложны в реализации и стоимости.

Решение задачи целеуказания многовариантно — от элемента естественной окружающей среды до использования физических эффектов.

Таким образом, можно констатировать что технологические предпосылки создания безмишенных ПСК имеются, однако отсутствует научно-методический аппарат их создания, как единой полигонной системы, в том числе отсутствует информационная архитектура такого комплекса, как основа построения таких систем.

Состав и структура полигонного стрелкового комплекса безмишенного типа

При разработке информационной модели ПСК безмишенного типа принято считать, что роль целей выполняют объекты естественной и техногенной окружающей среды, в том числе объекты, скрытые масками местности и ненаблюдаемые стрелком, следовательно, поведенческие модели целей не рассматриваются.

Особенности построения информационной архитектуры представлены в работе [15] на кон-

цептуальном уровне предполагает дальнейшую работу по разработке информационной модели системы.

Рассмотрим состав и структуру ПСК безмишенного типа (рис. 1). Он состоит из устройства целеуказания 1 с возможностью определения координат границ цели 3 руководителем стрельб 2, оборудования для определения в ограниченной зоне огневого рубежа в единой системе координат с устройством целеуказания 1, содержащего устройство 4, определяющее пространственное положение устройства регистрации 5 и передающее эти координаты в устройство целеуказания 1, устройство 5 регистрации характеристик и вектора полета пули, устройства документирования (печати) результатов стрельбы 7, устройства отображения 8 и пульта управления 9, вычислительно-запоминающего устройства (персональный компьютер) 10, имеющего в своем составе операционную систему и специальное программное обеспечение.

Функционирование ПСК начинается с целеуказания. При наведении руководителем стрельб

объектива устройства целеуказания 1 на предполагаемую цель 3, функции которой выполняют объекты естественной и техногенной окружающей среды, в том числе объекты, скрытые масками местности и ненаблюдаемые стрелком, и фиксации цели, устройство 1 в собственной локальной системе координат, являющейся единой системой координат для всех устройств комплекса, путем определения дальности до цели и углов установки объектива видеоискателя устройства 1 определяет координаты границ цели.

Руководитель стрельб 3 (лицо, управляющее огнем подразделения (проводящее занятие, тренировку и т. д.) дает целеуказание стрелку 5 (обучающемуся). Последовательно фиксируется необходимое количество целей и даются целеуказания всем обучающимся.

Разработка информационной модели

Рассмотрим концептуальную информационную модель безмишенного ПСК (рис. 1).

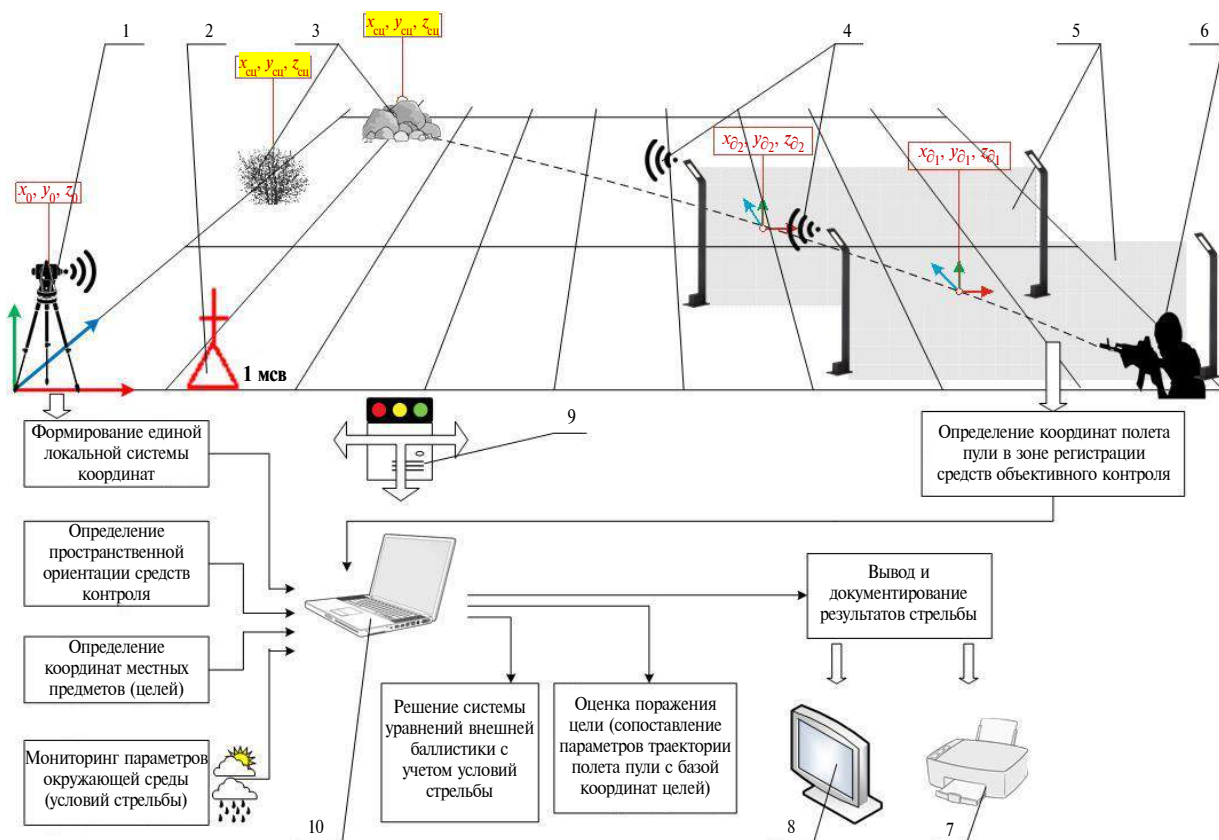


Рис. 1. Состав полигонного стрелкового комплекса безмишенного типа:

1 — устройство целеуказания; 2 — руководитель стрельб; 3 — цель (объекты естественной и техногенной окружающей среды); 4 — устройство, определяющее пространственное положение устройства регистрации полета пули; 5 — устройство регистрации характеристик полета пули; 6 — обучаемый (стрелок); 7 — устройство документирования (печати) результатов стрельбы; 8 — устройство отображения; 9 — пульт управления; 10 — вычислительно-запоминающее устройство (персональный компьютер)

Преобразование информации выполняется операторами, обозначенными заглавными буквами латинского алфавита на рис. 2.

N — оператор сбора и хранения данных при активации системы. При активации оборудования полигонного комплекса приложением устройства управления 9 (рис. 2) ПСК происходит анализ готовности всех устройств системы к работе с выдачей соответствующего сигнала готовности на устройство управления и формированием потока информации X_n . В ручном режиме или путем выбора из БД вводятся идентификационные характеристики всех операторов вооружения (обучаемых) с их функциями — стрелок или лицо, управляющее огнем (формируется поток Γ). Следует отметить, что к обучаемым могут относиться и лица, управляющие огнем подразделения, или группы обучаемых, определяющих и дающих целеуказания в соответствии с планом проведения стрельб и решением руководителя стрельб.

К входным данным оператора N также относятся характеристики оружия на каждой пози-

ции обучаемых, включая характеристики патрона, которые формируют множество Y_n . Эти характеристики выбираются из базы данных после указания типа оружия и боеприпаса. Поток информации S поступает с датчиков, характеризующих внешние условия: температура окружающей среды, скорость и направление ветра, влажность воздуха, видимость (день, ночь, сумерки, туман, снег, пыль, дым), контрастность естественных объектов полигона на фоне окружающей среды. При необходимости отдельные значения могут вводиться в ручном режиме.

Таким образом, входными параметрами оператора N являются входные данные:

Γ — идентификационные характеристики обучаемого (оператора вооружения) и руководителя (лицо, управляющее огнем);

S — внешние условия проведения стрельб;

Y_n — множество параметров, характеризующих оружие;

X_n — начальные исходные данные (готовность оборудования).

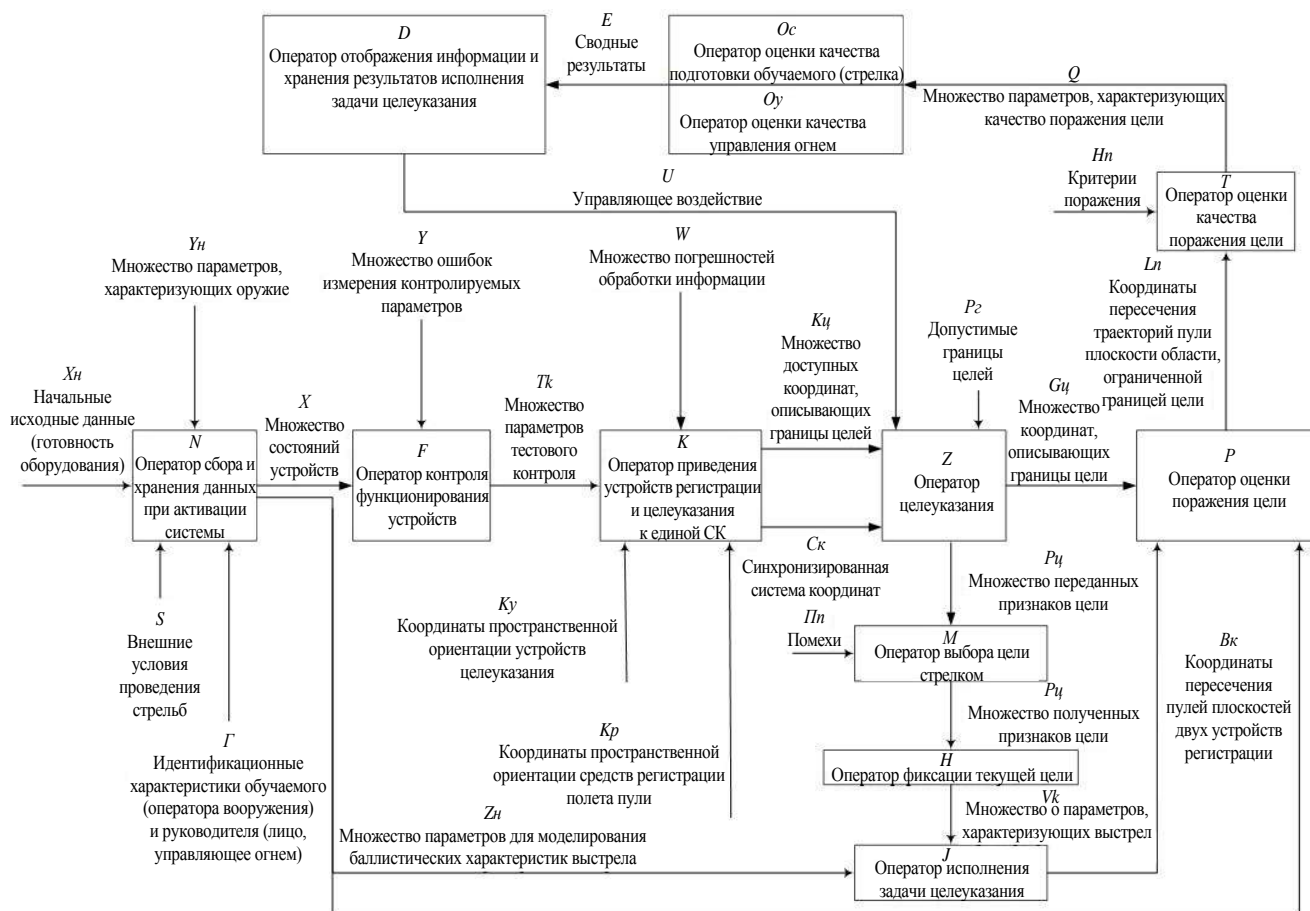


Рис. 2. Информационная модель безмишенного полигонного стрелкового комплекса

А также выходные данные: X — множество состояний устройств после активации системы и информация Z_n , необходимая для выполнения задачи целеуказания и расчета баллистических характеристик (внешние условия проведения стрельб, а также данные по обучаемым и вооружению).

F — оператор контроля функционирования устройств. Входной информацией являются сигналы готовности устройств к работе X , а также возможные ошибки их взаимного функционирования Y . В первую очередь проверяются два устройства регистрации полета пули 5 с устройствами определения местоположения 4. Проверка осуществляется на предмет корректности взаимного расположения устройств регистрации 5 и соответствия их расположения области выбора цели устройством целеуказания. Контроль функционирования выполняется путем тестовых воздействий, в результате чего формируется поток информации T_k .

K — оператор приведения устройств регистрации и целеуказания к единой системе координат. Входной информацией для оператора являются потоки: T_k — результаты функционирования устройств, K_y — координаты пространственной ориентации устройства целеуказания и K_p — координаты пространственной ориентации средств регистрации полета пули, поступающие на устройство управления 9 с устройства целеуказания 1 и устройств 4, определяющих пространственное положение устройств регистрации 5.

Выходной информацией данного оператора является общая для всех устройств система координат C_k , а также множество доступных координат $K_{ц}$ для описания границ цели. Последнее определяется пространственным расположением устройств 5 для каждого обучаемого и устройством целеуказания 1. Ограничения на выбор цели вводятся и обуславливаются требованиями безопасности со стороны руководителя стрельб. При выборе единой цели для всех обучаемых проверяется возможность ее поражения для всех направлений, определяемых расположением устройств регистрации 5 и стрелка 6.

Z — оператор целеуказания. Лицо, управляющее огнем, с помощью устройства целеуказания фиксирует цель для каждого обучаемого. Входная информация определяется ограничениями на координаты цели $K_{ц}$, на координаты границ цели P_r (размер цели, область цели) в единой системе координат C_k . Выходная информация данного оператора определяется выбранными целями с их границами $G_{ц}$, необходимыми для расчета и оценки степени поражения цели для каждого обучаемого, а так-

же — множеством признаков цели $P_{ц}$, которые лицо, управляющее огнем, передает каждому обучаемому для дальнейшего поражения.

M — оператор выбора цели стрелком. Входная информация — множество признаков цели $P_{ц}$, переданное лицом, управляющим огнем подразделения 2, а также помехи при передаче (как естественные, так и создаваемые искусственно), а выходная информация — множество полученных признаков цели $R_{ц}$, полученных, распознанных и понятых обучаемым (стрелком). Этот оператор в информационной модели характеризует качество взаимопонимания командира и подчиненного при выполнении задачи поражения цели.

H — оператор фиксации текущей цели определяет и фиксирует выбранную цель на основе полученных признаков $R_{ц}$. В результате чего формируется множество параметров, характеризующих производство выстрела V_k .

J — оператор исполнения задачи целеуказания. При производстве выстрела входной информацией для оператора, помимо множества V_k , определяющего положение оружия и стрелка, является информация для стрелка, определяющая баллистику пули Z_n . Выходная информация — координаты пули, зафиксированные двумя устройствами регистрации 5.

P — оператор оценки поражения цели выполняет расчет баллистических характеристик полета пули, определяет траекторию пули и факт пересечения траектории пули с областью, ограниченной границами цели, то есть факт поражения цели. Входная информация — координаты границы цели $G_{ц}$, координаты B_k пересечения плоскостей двух устройств регистрации 5, множество параметров для моделирования баллистических характеристик выстрела Z_n .

T — оператор оценки качества поражения цели обусловлен необходимостью оценки качества поражения цели. Входная информация — координаты пересечения траекторией пули плоскости области, ограниченной границей цели и нормативные критерии поражения цели $H_{п}$. Выходная информация — определяет качество поражения цели $Q_{ц}$.

O_c — оператор оценки качества подготовки обучаемого (стрелка). На основе входной информации о качестве поражения цели $Q_{ц}$. В таблицу базы данных заносится информация о качестве подготовки каждого обучаемого по результатам одного выстрела. Выходной информацией являются сводные результаты как по обучаемому, так и по подразделению. К ней может также относиться и статистическая информация, характерная для определения динамики обучения, сравнения результатов.

O_y — оператор оценки качества управления огнем в качестве входной информации использует также информацию о качестве поражения цели $Q_{ц}$, но всеми обучаемыми. Кроме того, учитывается время постановки задачи на поражение цели, а по координатам пересечения пуль плоскости цели — правильность выбора цели обучаемым (стрелком) и качество описания признаков цели лицом, управляющим огнем подразделения. Этот оператор в информационной модели использует информацию по все обучаемым подразделениям.

Выходной информацией являются сводные результаты как по обучаемому, так и по подразделению, но при выполнении роли лица, управляющего огнем.

D — оператор отображения информации и хранения результатов исполнения задачи целеуказания. Входная информация данного оператора — индивидуальные результаты поражения цели обучаемыми, сводные результаты выполне-

ния упражнения как при стрельбе, так и при управлении огнем подразделения. Выходная информация о результатах стрельб подлежит хранению. Кроме того, определяется целями занятия и может использоваться лицом управляющим огнем, для корректировки своих действий и продолжения занятий (управляющее воздействие U).

Рассмотрим декомпозицию взаимосвязи оператора исполнения задачи целеуказания J и оценки поражения цели P , представленную на рис. 3.

J_1, J_2 — операторы фиксации координат пули в первом и во втором устройствах регистрации. Входными параметрами являются параметры, характеризующие выстрел, а также множество параметров, характеризующих погрешности аппаратного определения координат пули в регистрационных устройствах. Выходными параметрами — координаты полета пули, зафиксированные в первом и во втором устройствах регистрации.

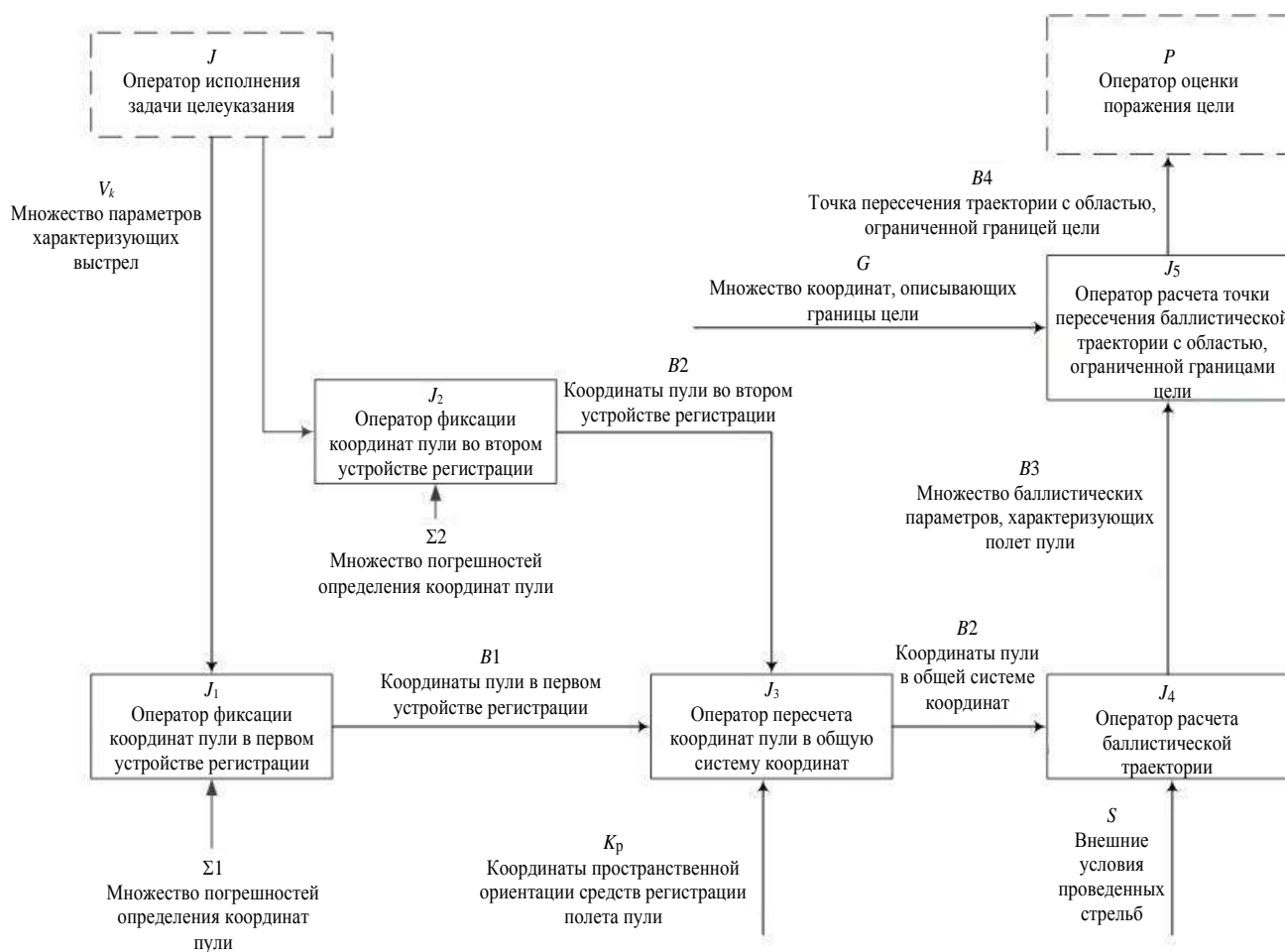


Рис. 3. Декомпозиция взаимосвязи оператора исполнения задачи целеуказания J и оценки поражения цели P

J_3 — оператор пересчета координат пули в общую систему координат. Входной информацией оператора являются координаты пространственной ориентации средств регистрации полета пули 5 (рис. 1), координаты пули в системе координат устройств, выходной — в общей системе координат.

J_4 — оператор расчета баллистической траектории обеспечивает расчет на основе координат пули в общей системе координат B_2 и внешних условий проведения стрельбы S . Баллистический коэффициент принимается постоянным. На выходе оператора — параметры B_3 , характеризующие баллистику пули начальная скорость пули, угол бросания, вектор, определяемый моментом пересечения второго устройства регистрации и баллистическая траектория.

J_5 — оператор расчета точки пересечения баллистической траектории с областью, ограниченной границами цели. В случае, если, например, ось ОХ направлена от устройства целеуказания к цели, то определяются координаты точки пересечения баллистической траектории пули с плоскостью цели $x = x_c$. Анализ принадлежности точки пересечения области, ограниченной границей цели, позволяет определить поражение цели, а удаленность точки пересечения от центра цели — качество поражения.

Заключение

В результате проведенного исследования выполнен анализ существующих ПСК и опреде-

лены существующие направления их развития. Установлено, что развитие полигонного оборудования связано с совершенствованием мишенных установок, обеспечивающих стационарные, движущиеся, появляющиеся мишени и средств управления этими установками. Высокая стоимость мишенного оборудования и несоответствие формируемой мишенной обстановки реальной фоно-целевой снижает качество обучения военнослужащих.

В настоящее время имеются технологические предпосылки создания ПСК безмишенного типа, однако отсутствует научно-методический аппарат их создания. Определено, что основные задачи — определение достаточно точной траектории полета пули с учетом погодных условий и определение цели для стрелка в единой системе координат могут быть решены на современном этапе развития без использования дорогостоящего мишенного оборудования.

Разработан состав, структура и основные принципы функционирования ПСК безмишенного типа, основу которых составляет устройство целеуказания и устройство регистрации баллистических характеристик полета пули.

Разработана информационная модель ПСК безмишенного типа, сущность которой составляет взаимосвязь потоков информации и операторов ее обрабатывающих. В первом приближении информационная модель содержит 16 операторов событийно-функциональных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплекс автоматизированного полигонного оборудования: сайт ОАО "НПО РусБИТех" [Электронный ресурс]. URL: <https://rusbitech.ru/products/tns/kpao> (дата обращения: 30.11.2021).
2. Комплекты стрельбищного оборудования: сайт ООО "Петербургские Информационные Системы" [Электронный ресурс]. URL: <https://poligon-services.ru/production/equipment> (дата обращения: 30.11.2021).
3. Оборудование для полигонов и стрельбищ: сайт ОАО "58 ЦЗПУО" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.polygon-factory.ru/products/polygon> (дата обращения: 30.11.2021).
4. Мобильный комплект полигонного оборудования: сайт ФКП "НИИ "Геодезия" [Электронный ресурс]. URL: http://niigeo.ru/images/files/1-25_arms.pdf (дата обращения: 30.11.2021).
5. Коновалов И. А., Ногтев В. В. Комплекс для обучения приемам и тактике стрельбы мотострелковых подразделений. Патент № 88 426 Российская Федерация. Заявл. 14.07.2009. Оpubл. 10.11.2009.
6. Аниченко В. Д., Никифоров В. Н. Учебный винтовочный артиллерийский полигон. Патент № 88 122 Российская Федерация. Заявл. 24.06.2009. Оpubл. 27.10.2009.
7. Ильичев С. В. Радиоуправляемое переносное стрельбищное оборудование. Патент № 82 312 Российская Федерация. Заявл. 13.10.2008. Оpubл. 20.04.2009.
8. Балышева М. И., Бутранов А. С., Горячев А. К., Долговязов А. В., Еремин Б. Г., Мартынов С. В., Никитенко В. В., Ситников А. П., Смирнова О. В., Сытова А. В. Мишенный комплекс. Патент № 185 483 Российская Федерация. Заявл. 21.03.2018. Оpubл. 06.12.2018. Бюл. № 34.
9. Оглезнев М. А., Васильев Ю. В., Юсупов И. Ф., Иванов К. А., Сермягин К. В. Мишенный комплекс и способ управления им. Патент № 2 722 515 Российская Федерация. Заявл. 17.07.2019. Оpubл. 17.07.2019. Бюл. № 16.

10. **Чистяков А. В.** Установка движущейся мишени (варианты). Патент № 85 224 Российская Федерация. Заявл. 28.01.2008. Оpubл. 27.07.2009.
11. **Заяц Ю. А., Филиппов М. А.** Постановка задачи развития стрелковых полигонных комплексов // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып. 2. С. 445—451.
12. **Ефанов В. В., Мужичек С. М.** Устройство для измерения скорости метаемого тела. Патент № 2 285 267 Российская Федерация. Заявл. 13.05.2005. Оpubл. 10.10.2006. Бюл. № 28.
13. **Ефанов В. В., Мужичек С. М., Любарчук Ф. Н., Андрусенко А. П.** Способ определения характеристик пролета снарядов относительно центра мишени при стрельбе из артиллерийского оружия и информационно-вычислительная система для его осуществления. Патент № 2 572 370 Российская Федерация. Заявл. 18.08.2014. Оpubл. 10.01.2016. Бюл. № 1.
14. **Афанасьева Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В.** Устройство определения внешнебаллистических параметров в совмещенной с баллистической трассой инвариантной световой мишени. Патент № 2 388 991 Российская Федерация. Заявл. 28.07.2008. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
15. **Заяц Ю. А., Филиппов М. А., Киселев М. В., Копылов И. Н.** Особенности построения информационной архитектуры полигонных стрелковых комплексов безмишенного типа // Научный резерв. 2022. № 4(20). С. 49—56.

AN INFORMATION MODEL WITHOUT A MACHINE FIRING RANGE COMPLEX

Yu. A. Zayats, T. M. Zayats, M. A. Filippov

Ryazan Higher Airborne Command School, Ryazan, Russia

High costs for the functioning of existing firing ranges, low compliance with scenarios cause research on the development of unmarked systems. As a result of the research, the basic principles of construction have been formed and an information model of an unmarked firing range complex has been developed, the essence of which is the relationship between information flows and operators processing it.

Keywords: shooting polygon, shooting complex, polygon equipment of a range shooting complex, information model.

Bibliography — 15 references.

Received February 14, 2023

УДК 681.5
DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_17
EDN: QVDBUT

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ АЭРОГЕОРАЗВЕДКИ

А. А. Жиленков, канд. техн. наук; Н. П. Рачёв

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Проведен анализ проблематики разведочной геологии, что позволяет утверждать, что самым важным и самым первым этапом добычи полезных ископаемых, который начинается с определения того, какие полезные ископаемые подлежат разработке, их геологическое расположение, приблизительный размер требуемого рудного тела и потенциальных площадей. Исследовано, что идет интенсивное развитие аэрогеоразведки с использованием беспилотных летательных аппаратов или дронов, на которых установлено специальное оборудование. Такие дроны способствуют значительному повышению эффективности поиска полезных ископаемых и их добычи.

Ключевые слова: аэрогеоразведка, дроны, мониторинг, полезные ископаемые, магнитометрия, лазерная разведка, БПЛА.

В связи с тем, что наземные съёмки зачастую невозможны из-за сложных геоморфологических условий, заболоченных площадей, крутых горных склонов, и непроходимых кустарников использование съёмки при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) помогает решить проблему георазведки. Кроме того, использование беспилотной съёмки значительно удешевляет стоимость работ, исключая необходимость выполнения топографо-геодезических работ.

Трёхмерная сейсморазведка является одной из технологий для изучения ясной картины недр. Узнать, что скрыто в недрах помогает специальная техника применения виброисточника. Установки выстраиваются в ряд и одновременно создают сейсмозвуждение за счёт вибрации специального оборудования, что позволяет получить мощный совокупный сигнал для зондирования. Сам сигнал уходит до отражающих горизонтов, после чего отраженная волна приходит на сейсмодатчики. На сейсмостанции работает оператор, обрабатывающий поступающие данные. Методика работ организована та-

ким образом, чтобы получить подробную геологическую информацию, как по высоко залегающим горизонтам, так и пластам, залегающим на глубинах 3—4 километров. После анализа сейсмических данных геологи прогнозируют местоположение полезных ископаемых, но точно ответить на вопрос о нахождении под землёй полезных ресурсов сможет только бурение геологоразведочных скважин. В ходе бурения геологоразведочных скважин специалисты изучают образцы керна — это столбик природных пород, поднятых из ствола скважины. Ствол скважины изучается геофизическими и геохимическими методами, по результатам таких исследований по всей глубине скважины определяют самые полезные места. Тем самым геологи понимают на какой глубине нужно перфорировать ствол скважины. Создание точной модели конкретного месторождения начинается с моделирования геологического строения целого региона, такая модель называется бассейновой, с её помощью определяют потенциально интересные зоны для дальнейшего изучения [1—3].

Перечислим основные этапы поиска залежей полезных ископаемых.

- Создание горных выработок или скважин для выполнения структурно-геологических исследований. По результатам проведенных исследований оценивается потенциально промышленное значение месторождения.
- Определение потенциально промышленного значения района, его параметры, а также ме-

Жиленков Антон Александрович, доцент, заведующий кафедрой "Киберфизические системы".

E-mail: zhilenkovanton@gmail.com

Рачёв Николай Павлович, инженер.

E-mail: rachevnikolay@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9 февраля 2023 г.

© Жиленков А. А., Рачёв Н. П., 2023

сторождения полезных ресурсов, технические характеристики и размеры рудного горизонта, условия, в которых он возник.

- Проведение доразведки на потенциальных участках, которые были не до конца изучены на начальных этапах разведки.

- Одновременно с подготовительными работами проводится оперативная разведка. Геолого-разведочные работы проводят в целях обеспечения добычи на текущем этапе, то есть до начала работ по очистке в целях уточнения информации о месторождениях, полученной на этапах детальной разведки.

После определения перспективных участков, наступает пора полевых работ, то есть сбора данных с помощью геофизических исследований, самая распространённая из которых — аэрогеоразведка с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Отечественные системы аэрогеологоразведки

Благодаря современным подходам к технологиям геологоразведки период от открытия до промышленного освоения месторождений удалось сократить в разы. Внедрение беспилотников в геологоразведку обладает ключевым преимуществом — скорость и сохранение качества исследования.

Нефтяники задействуют дроны для решения десятков типов разных задач от поиска нефти и доставки грузов до контроля строительных работ и трубопроводов. Ключевыми требованиями к дронам являются грузоподъёмность и надёжность. Дроны оснащают оборудованием для поиска нефти весом до 20 кг.

На рис. 1 показано, как выглядит дрон.



Рис. 1. Дрон VT-45 вертолётного типа

На борту дрона находятся два магнитометра: один измеряет магнитное поле земли, второй — магнитное поле беспилотника. Для того чтобы в

результатах выполнения съёмки учесть помехи, которые создаёт беспилотник в изменении магнитного поля земли, что позволяет повысить точность определения местонахождения залежей нефти и газа.

Управление осуществляют посредством программного обеспечения в соответствии с полетным заданием. Во время облета информация от магнитометра поступает на станцию внешнего пилота, что позволяет оперативно отслеживать качество данных.

Другим новым прорывным решением для нефтяников стало создание технологии "зелёная сейсмика". Эта технология смогла существенно сократить антропогенное воздействие на лесные массивы. Сейсморазведка — это процесс подземной эхолокации, принцип работы которой такой же, как у УЗИ и томографии в медицине. Смыслом "зелёной сейсмики" заключается в том, чтобы проводить исследования, перемещаясь между деревьями в лесных массивах не используя тяжелой техники. За счёт этого меньше негативному влиянию подвергаются почвенный покров и деревья [3—5].

Огромные массивы данных, которые геологи собирают с помощью сейсмики, анализируются системами обработки больших данных, в том числе на базе технологий искусственного интеллекта и методов машинного обучения. На базе такого анализа создаются цифровые двойники месторождений природных ископаемых.

Далее анализируют все виды полученной информации с помощью цифровых инструментов, таких, как бассейновое моделирование. На рис. 2 изображена картина бассейнового моделирования. Специалисты создают модель, с помощью которой определяют будет ли та или иная территория перспективной для добычи нефти или газа.

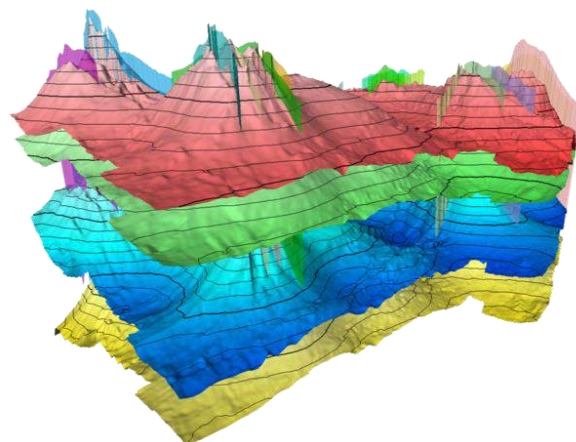


Рис. 2. Бассейновое моделирование

Сами модели являются своего рода документом, они максимально информативны и имеют важнейшее прикладное значение. По ходу разработки месторождения их дополняют, актуализируя информацию о запасах полезных ископаемых на месторождении. Таким образом, цифровые технологии помогают находить нефть, а также управлять её добычей после запуска работ.

Отечественная компания GEOSCAN разрабатывает квантовый и сенсорный магнитометры. По замыслу компании магнитометр должен обладать высочайшими метрологическими характеристиками и очень малым весом, возможностью регистрации большого количества показаний магнитного поля и данных геопривязки. Первоначально перед разработчиками стояла задача по внедрению магнетометра в БПЛА самолётного типа, однако при её реализации столкнулись с необходимостью компенсации внутренних самолётных девиаций.

Было выявлено что из-за достаточно высокой скорости полёта БПЛА не может производить съёмки с детальным огибанием рельефа. Исходя из данного факта была сформулирована задача по выполнению полёта с точным обтеканием рельефа.

Взгляд разработчиков переместился на созданный БПЛА коптерного типа "Геоскан 401", изображенный на рис. 3, он обладает высокой манёвренностью как в плоскости, так и в высоте. Так же было принято решение о креплении магнитометра к данному летательному аппарату с помощью подвеса. По результатам проведённых на специально созданном стенде исследований было выявлено, что при длине троса 20 метров лётные характеристики БПЛА не ухудшались, а влияние на магнитометр магнитных помех от систем БПЛА сводится к нулю.



Рис. 3. Геоскан 401

Благодаря научным достижениям в области аэрофотосъёмки и построению точных карт высот фотопараметрическим методом проведение магнитной разведки с детальным обтеканием рельефа не вызывает затруднений. Перед каждым полётом в автопилот квадрокоптера "Геоскан 401" загружается заранее созданная карта высот местности. Задаётся шаг по профилю, по которому коптер будет совершать полёт.

В составе комплекса есть предусмотренная наземная станция управления с установленными программами для навигации. После подготовки полётного задания программа загружается в память БПЛА и коптер совершает полёт в автоматическом режиме от взлёта до посадки, ручного управления не требуется, по завершению своей полётной миссии он совершит посадку в радиусе 50 см от первоначальной точки взлёта.

Компания завершила работу по усовершенствованию квантового магнитометра и привела его к виду готового изделия. Он представляет собой цельную углепластиковую конструкцию, включающую датчик, магнитометр, блок записей, блок телеметрии и блок питания (рис. 4).



Рис. 4. Магнитометр

Проведённые исследования подтвердили заявленные характеристики прибора. В новой версии магнитометра реализованы такие полезные функции: система автоотцепа, беспроводная связь, электронное табло управления, поворотный механизм, влагозащита и так же защита от ударов.

Чуть позже началось дорабатывание системы "Геоскан" на программном уровне. Для удобства взлёта в автопилот добавлена функция зависания на высоте 5 метров с последующим плавным подъёмом.

Зарубежные системы аэрогеоразведки

В Казахстане вопросом аэрогеоразведки занялась национальная геологоразведочная компания "Казгеология". Основные цели, которые были поставлены перед ней, — это обеспечение оптимального освоения территории страны. Создание новых минеральных сырьевых баз для фонда будущих поколений и обеспечение экономических и геополитических интересов Казахстана. Для воспроизводства минеральной сырьевой базы необходимо внедрять новые технологии, искать и оценивать новые месторождения и безусловно привлекать в отрасль инвестиции. За небольшой период времени Казгеология с поставленными задачами справилась.

Использование современных высокоэффективных геофизических технологий ведущих мировых производителей помогает компании решать задачи для поиска и разведки различных типов месторождений. Комплексные методы способствуют выявлению признаков рудных объектов на больших глубинах и проведению более достоверного прогноза. Одна из таких применяемых технологий является аэрогеофизические исследования. Технология позволяет проводить геологические исследования на глубине до 800 м с самолёта, а также и вертолётные исследования на глубине до 1500 км.

Наземная геофизика с применением технологии АМТ + МТ, которая впервые проводилась в Казахстане "Казгеологией", позволяет вести глубинные исследования до 2,5 км.

Открытие каждого нового месторождения является ещё одним неоценимым вкладом в развитие всей страны, однако это непростой процесс, который может занять несколько лет, и за ним стоит тяжелый и упорный труд настоящих профессионалов.

Процесс геологоразведочных работ включает в себя несколько этапов. В первую очередь проводится анализ и переинтерпретация ранее

произведённых работ по месторождению. Далее разрабатывается проект, включающий выборы методов проведения геологоразведочных работ применительно к условиям конкретного участка. Это либо аэрогеофизика, либо наземная геофизика, или горнопроходческие работы. После того, как рациональный метод разведки выбран, специалисты приступают непосредственно к геологическим маршрутам и буровым работам. Образцы горных пород осматривают и изучают на месте, после направляют на лабораторные исследования. И самый последний этап — это по результатам исследования составляют подсчёты и отчёт прогнозных ресурсов на утверждение заказчика [5, 6].

В 2015 г. "Казгеология" создала современную геофизическую партию, укомплектованную высокотехнологическим и геофизическим оборудованием и программным обеспечением от ведущих мировых производителей.

Производственное подразделение оснащено оборудованием, которое позволяет выполнять работы высокотехнологичными электромагнитными технологиями.

Использование современного оборудования и постоянное внедрение новых технологий позволяют молодой компании решать самые непростые задачи.

Беспилотные летательные аппараты превращают георазведочный сектор в развивающийся рубеж для новых технологий, помогают отрасли найти более дешёвые и безопасные способы составления карт месторождений и разведки полезных ископаемых (рис. 5). Благодаря умению отслеживать запасы, составлять карты разведочных целей и отслеживать оборудование потенциальных применений беспилотных летательных аппаратов в геологической промышленности, возможности компании практически безграничны. Беспилотные летательные аппараты обеспечивают огромную эффективность и экономические преимущества на каждом этапе жизненного цикла добычи полезных ископаемых, включая разведку, планирование разрешений, добычу полезных ископаемых и рекультивацию.



Рис. 5. БПЛА в аэрогеоразведке

Одним из наиболее существенных преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов является их стоимость. Работы с применением БПЛА гораздо более дешевые, чем работы, использующие традиционные пилотируемые самолёты. Беспилотные летательные аппараты обеспечивают более высокие результаты за небольшую цену. Использование беспилотных летательных аппаратов в промышленных целях интенсивно растёт и позволяет экономить предприятиям значительные суммы денег при одновременном получении уникальных, ценных и критически важных результатов.

Закключение

Беспилотные летательные аппараты, системы обработки больших массивов информации на базе искусственного интеллекта и машинного обучения, цифровые двойники помогают в сжатые сроки открывать и запускать новые центры нефте- и газодобычи. Правильная расстановка приоритетов, подготовка квалифицированных кадров, а также выделение бюджета на данную область исследований непосредственно улучшит ситуацию и обеспечит прогресс науки и технологии в данном направлении. По оценкам экспертов, разведанных запасов ценных природных ресурсов в ЮГРЕ хватит на десятки лет работы и усовершенствования систем аэрогеоразведки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко А. Д., Дмитриев Д. А., Иванова Е. О., Чигарев А. Г. Литология и полезные ископаемые сантона центральной части КМА // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. 2008. Т. 55. С. 1—108. EDN: SIGVCJ.
2. Тимурзиев А. И. Современное состояние практики и методологии поисков нефти — от заблуждений застоя к новому мировоззрению прогресса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 11. С. 20—32. EDN: NBUXQV.
3. Karpov A. D., Zhilenkov A. A., Lisitsa D. The integration of the video monitoring, inertial orientation and ballast systems for container ship's emergency stabilization // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01—03 февраля 2017 года. — St. Petersburg, 2017. P. 887—891. DOI: 10.1109/ElConRus.2017.7910697. EDN: XNDCZR.
4. Бембель С. Р. Особенности проявления современной локальной геодинамики в западной части ХМАО-Югра, их связь с очагами нефтегазоаккумуляции // Геология нефти и газа. 2010. № 4. С. 8—12. EDN: MTXHBR.
5. Жиленков А. А., Черный С. Г. Извлечение информации из BigData с помощью нейросетевых архитектур как сетей ассоциаций информационных гранул // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2022. Т. 72. № 3. С. 81—90. DOI: 10.14357/20790279220308. EDN: FYAQCE.
6. Авдеев Б. А., Черный С. Г., Моисеев И. С., Жиленков А. А. Определение интергармоник тока асинхронного двигателя с переменной периодической нагрузкой // Электротехника. 2022. № 6. С. 39—44. DOI: 10.53891/00135860_2022_6_39. EDN: QJGBTW.

STUDY OF THE CURRENT STATE OF DOMESTIC AND FOREIGN AIRBORNE GEORECONNAISSANCE SYSTEMS

A. A. Zhilenkov, N. P. Rachev

St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

An analysis of the problems of exploration geology has been carried out, which suggests that the most important and very first stage of mining, which begins with determining which minerals are to be mined, their geological location, the approximate size of the required ore body and potential areas. The intensive development of airborne geo-reconnaissance using unmanned aerial vehicles or drones, on which special equipment is installed, has been studied. Drones have contributed to a significant increase in the efficiency of the search for minerals and their extraction.

Keywords: aegogeological exploration, drones, monitoring, minerals, magnetometry, laser reconnaissance, drone.

Bibliography — 6 references.

Received February 9, 2023

УДК 534.843.12, 534.843.14
DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_22
EDN: QZJAZR

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТНОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ БПЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ НАБЛЮДАТЕЛЯ

¹ О. В. Гайворонский, канд. техн. наук; ² В. В. Спирыгин, канд. техн. наук;
¹ И. П. Бычихин; ¹ М. Р. Смирнов; ¹ П. М. Голенко; ¹ А. С. Трехлебов; ³ В. В. Спирыгин
¹ Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа, Краснодарский край, Россия
² Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
³ ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты исследования сходимости экспериментальных данных зависимости уровня звукового давления БПЛА от расстояния до наблюдателя с теоретическими значениями. Установлено, что максимальная ошибка измерений составила 7 %, что в целом допустимо при разработке методов снижения акустической заметности БПЛА мультироторного типа.

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

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало неотъемлемой частью многих сфер деятельности. В зависимости от выполняемой задачи используют БПЛА различного типа с определённым набором технических характеристик.

Различают 4 типа БПЛА [1–3]: самолётного, мультироторного, аэростатического, а также гибридные модели.

На основе анализа источников [4–6] можно сделать вывод что БПЛА мультироторного типа являются наиболее распространёнными и применимыми. Это зачастую вызвано простотой эксплуатации, конструкции, и, как следствие, делает такой тип БПЛА более экономически выгодным в различных сферах [7]. В области исследования БПЛА одной из приоритетных задач, особенно в оборонных целях, является уменьшение их заметности.

Для разработки методов по уменьшению акустической заметности необходимо проводить расчеты, позволяющие определить уровень акустической заметности БПЛА в зависимости от расстояния до наблюдателя. Для понимания точности расчета акустической незаметности БПЛА на основе общеизвестных формул со значениями, полученными экспериментальным методом, предлагается провести оценку зависимости уровня звукового давления, создаваемого БПЛА, от расстояния до наблюдателя.

Методика выполнения эксперимента предполагает использование следующих объектов:

- автоматизированной системы измерения и обработки результатов шумомеров;
- БПЛА мультироторного типа.

Для проведения эксперимента был использован БПЛА мультироторного типа с 4 винтами, программно-аппаратный комплекс, использующий шумомер UNI-T UT353, и платы Arduino для записи показаний и передачи их на ПК.

Гайворонский Олег Витальевич, преподаватель кафедры РВСН ВУЦ.

E-mail: legorus12@yandex.ru

Спирыгин Валерий Викторович, доцент кафедры 908 "Физическая химия".

E-mail: spiryaginvv@mail.ru

Бычихин Иван Петрович, оператор 4-й научной роты.

E-mail: era_1@mil.ru

Смирнов Марк Романович, оператор 4-й научной роты.

E-mail: era_1@mil.ru

Голенко Пётр Михайлович, оператор 4-й научной роты.

E-mail: era_1@mil.ru

Трехлебов Андрей Сергеевич, старший оператор 4-й научной роты.

E-mail: era_1@mil.ru

Спирыгин Виталий Викторович, студент кафедры "Металлургия".

E-mail: V.V.Spiryagin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 28 января 2023 г.

© Гайворонский О. В., Спирыгин В. В., Бычихин И. П., Смирнов М. Р., Голенко П. М., Трехлебов А. С., Спирыгин В. В., 2023

В качестве испытуемого летательного аппарата использовали модель Geoscan Pioneer (рис. 1). БПЛА оснащён электродвигателями бесколлекторного типа серии 1306 3100 KV. Эксперимент проводил в помещении с закрытыми окнами для уменьшения влияния посторонних шумов.



Рис. 1. БПЛА модели Geoscan Pioneer мультироторного типа

Описание теоретической зависимости звукового давления, издаваемого БПЛА, от расстояния до наблюдателя

Звуковым (акустическим) давлением P называют локальное отклонение давления воздуха или газа, вызванное звуковыми колебаниями [9]. Звуковые волны возбуждают колебания частиц среды, в результате чего локально изменяется атмосферное давление относительно данного участка.

Уровень звукового давления математически выражается как функция логарифма, зависящая от отношения среднеквадратичного звукового и номинального давления [9]:

$$L_p = 20 \lg \left(\frac{p_{cp}}{p_0} \right) \text{ дБ}, \quad (1)$$

где p_{cp} — среднеквадратичное значение звукового давления (Па);

p_0 — эталонное звуковое давление ($p_0 = 20 \text{ мкПа}$).

В исследовании [10] установлено, что при эталонном звуковом давлении уровень звука с частотой 1000 Гц равен 0 дБ. Известно, что уровень звукового давления также можно представить в виде логарифмической функции, зависящей от расстояния. Однако точно измерить

значение звукового давления возможно только при измерении на двух разных расстояниях:

$$L_2 = L_1 - \left| 20 \lg \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \right| = L_1 - \left| 10 \lg \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right| \text{ дБ} \quad (2)$$

где L_1 — звуковое давление на расстоянии r_1 (дБ);

L_2 — звуковое давление на расстоянии r_2 (дБ);

r_1 — расстояние до 1-го измеряемого объекта (м);

r_2 — расстояние до 2-го измеряемого объекта (м).

Так как эксперимент проводили с использованием нескольких равноудалённых объектов измерения, значения которых были усреднены, то формула (1), согласно формуле (2), упрощается до вида:

$$L_p = - \left| 20 \lg \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \right| = - \left| 20 \lg (R) \right| \text{ дБ} \quad (3)$$

где R — расстояние от объекта измерения (м).

Формула (3) описывает общий вид зависимости звукового давления от расстояния. Однако для более точной аппроксимации в зависимости (3) необходимо учитывать коэффициент среды и значение звукового давления измеряемого объекта на расстоянии 1 метра [8]. В соответствии с этим конечная формула приобретает вид:

$$L_p = - \left| 20 \lg (R) \right| + b = -20 \left| \lg (R) \right| + b = k \left| \lg (R) \right| + b, \quad (4)$$

где k — коэффициент среды;

b — начальное значение звукового давления, создаваемое на расстоянии 1 м от измеряемого объекта.

Экспериментальное определение уровня звукового давления при различных расстояниях от наблюдателя

Для подтверждения теоретических данных был проведён эксперимент с измерением уровня акустического давления с учётом следующих допущений:

- ни одна из стен не превышала 4 м;
- порог слышимости БПЛА установлен на уровне не менее 56 дБ.

Устройство измерения уровня звука располагалось относительно БПЛА на расстоянии 1 м. Далее БПЛА мультироторного типа отдалялся от измерительного прибора постепенно увеличивая расстояние до 4 м.

Значение уровня шума, создаваемого работой винтов БПЛА показано на рис. 2, где L_p — уровень звукового давления в дБ, t — время проведения измерений.

На представленном графике достаточно чётко можно выделить отрезок, когда БПЛА начинает свой полёт и заканчивает его. Начиная с $t = 19$ сек. и до $t = 57$ сек. БПЛА находился в полёте, в ходе которого он планомерно отдалялся от объекта измерения (наблюдателя) до 4 метров. На рис. 3 изображён график, описывающий зависимость уровня звукового давления БПЛА от расстояния.

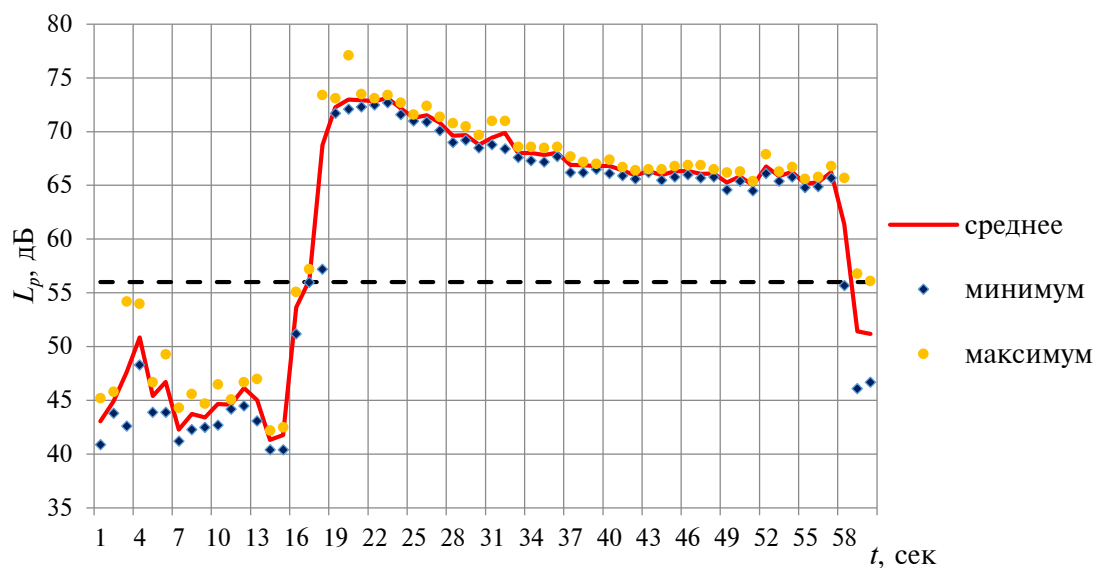


Рис. 2. График зависимости уровня звукового давления от времени

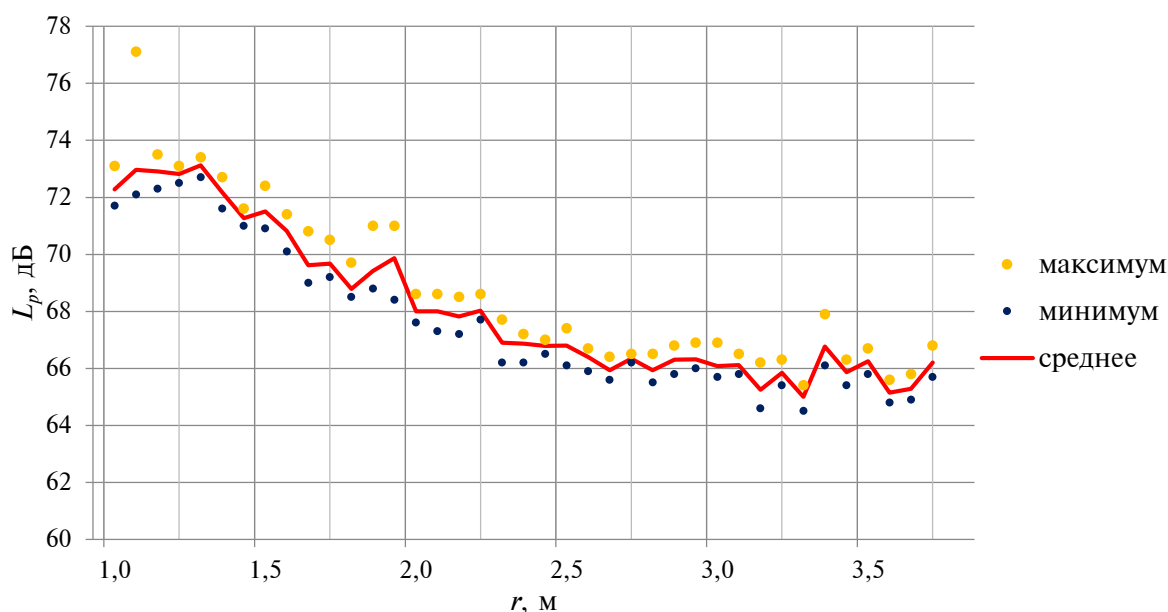


Рис. 3. График зависимости уровня звукового давления от расстояния

Результаты и обсуждение

По полученным экспериментальным данным определяли их сходимость с теоретическими значениями, для чего были построены теоретическая и экспериментальная линии трендов. Для построения теоретической зависимости с учетом формулы (4) предварительно были рассчитаны коэффициенты b и k по следующей методике:

1. Определение расстояния как функции, зависящей от времени:

$$R(t) = 1 + 3 \cdot \frac{t}{t_{\text{общ}}};$$

$$t = 0, 1, 2, \dots, 38; t_{\text{общ}} = 39.$$

2. Определение логарифма расстояния и поиск общей суммы:

$$F_1(R) = \sum_{i=1}^{39} \lg(r_i).$$

3. Определение квадрата логарифма расстояния и поиск общей суммы:

$$F_2(R) = \sum_{i=1}^{39} \lg^2(r_i).$$

4. Суммирование средних показаний шумомера:

$$F_3(x) = \sum_{i=1}^{39} x_i.$$

5. Определение произведения суммы средних показаний шумомера и логарифма от расстояния:

$$F_4(x, r) = \sum_{i=1}^{39} x_i \cdot \lg(r_i).$$

6. Нахождение обратной матрицы A :

$$A = \begin{pmatrix} F_1(R) & t_{39} \\ F_2(R) & F_1(R) \end{pmatrix}.$$

7. Произведение матриц A^{-1} и B для нахождения искомых коэффициентов:

$$A^{-1} \text{ и } B = \begin{pmatrix} F_3(x) \\ F_4(x, r) \end{pmatrix}.$$

Порядок расчета представлен ниже:

$$R(t) = 1 + 3 \cdot \frac{t}{t_{\text{общ}}};$$

$$R(0) = 1 + 3 \cdot \frac{0}{39} = 1;$$

$$R(1) = 1 + 3 \cdot \frac{1}{39} = 1,0769;$$

$$R(38) = 1 + 3 \cdot \frac{38}{39} = 3,9230;$$

$$F_1(R) = \sum_{i=1}^{39} \lg(r_i) = \lg(1) + \lg(1,0769) +$$

$$+ \dots + \lg(3,9230) = 0 + 0,3218 +$$

$$+ \dots + 0,59362 = 14,06651;$$

$$F_2(R) = \sum_{i=1}^{39} \lg^2(r_i) =$$

$$= \lg^2(1) + \lg^2(1,0769) +$$

$$+ \dots + \lg^2(3,9230) =$$

$$= 0 + 0,001 + \dots + 0,3524 = 6,1871;$$

$$F_3(x) = \sum_{i=1}^{39} x_i = 72,2778 + 72,9667 +$$

$$+ \dots + 66,2111 = 2657,5375;$$

$$F_4(x, r) = \sum_{i=1}^{39} x_i \cdot \lg(r_i) =$$

$$= 1 \cdot \lg(1) + 1,0769 \cdot \lg(1,0769) +$$

$$+ \dots + 3,9230 \cdot \lg(3,9230) =$$

$$= 0 + 2,348 + \dots + 39,305 = 942,26;$$

$$A = \begin{pmatrix} F_1(R) & t_{39} \\ F_2(R) & F_1(R) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14,06651 & 39 \\ 6,1871 & 14,06651 \end{pmatrix};$$

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} -0,323902 & 0,898032 \\ 0,142466 & -0,323902 \end{pmatrix};$$

$$A^{-1} \cdot B = \begin{pmatrix} -0,323902 & 0,898032 \\ 0,142466 & -0,323902 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_3(x) \\ F_4(x, r) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} -0,323902 & 0,898032 \\ 0,142466 & -0,323902 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2657,5375 \\ 942,26 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} -14,6038 \\ 73,4093 \end{pmatrix}.$$

После получения значений коэффициентов $k = -14,6038$ и $b = 73,4093$ были построены практическая и теоретическая линии трендов изменения шума БПЛА в зависимости от расстояния до наблюдателя, представленные на рис. 4.

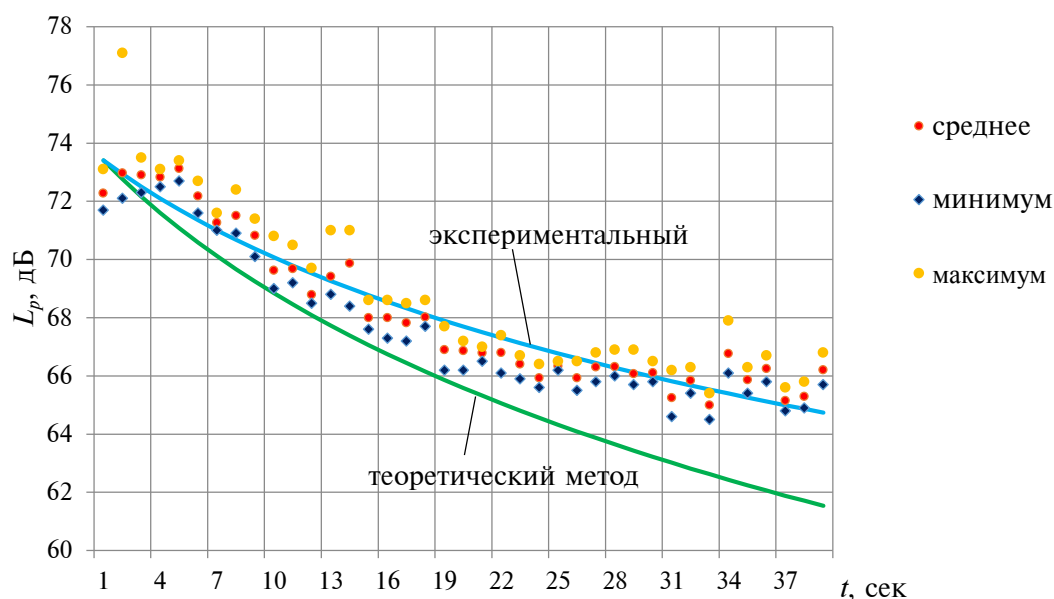


Рис. 4. График зависимости показаний шумомера по времени с отображением линий тренда

Как видно по графику, линии трендов теоретической и экспериментальной функций имеют планомерное расхождение: с увеличением расстояния показатель уровня шума, относительно начальных значений, расходится по мере увеличения расстояния до приемников шума. Это связано с тем, что акустические волны в процессе распространения отражаются от поверхностей и накладываются друг на друга. В начале эксперимента расхождения практических данных с теоретической линией тренда не столь существенны, однако на конечном этапе расхождение составляет 4,7 дБ. Относительно линии тренда, построенной на основе экспериментальных данных, средняя погрешность расхождения составляет 1,9462 дБ. Снижение шума с начала эксперимента до конца полёта составило 8,3935 % или 6,067 дБ.

Для расчёта точности относительная ошибка измерений определялась по формуле (5):

$$\sigma = \frac{L^{\text{изм}} - L^{\text{расч}}}{L^{\text{изм}}} 100 \% \quad (5)$$

Значения относительной ошибки измерений для некоторых значений представлены в таблице.

Значения относительной ошибки измерений

№	$L^{\text{изм}}, \text{дБ}$	$L^{\text{расч}}, \text{дБ}$	σ
1	72,278	73,409	1,565
2	70,825	69,243	2,233
3	68,025	66,146	2,763
4	66,3111	63,866	3,686
5	66,2111	61,5368	7,05976

Относительная ошибка измерений согласно формуле (5), составила от 1,5 до 7 %, что является допустимым показателем при построении линии тренда. Таким образом, проведённые испытания подтверждают теоретические данные, но из-за свойств механических волн интерференции, дифракции и отражения практические данные не всегда совпадают с теоретическими. Погрешность теоретического метода растёт экспоненциально расстоянию до наблюдателя.

Заключение

Проведено исследование функциональной зависимости между шумом винтов БПЛА мультироторного типа и расстоянием до наблюдателя в помещении.

Произведено сравнение теоретических и экспериментальных данных. Выявленное различие в результатах обосновано интерференцией волн, их отражением от поверхности помещения и дифракцией.

В ходе обработки полученных данных была также определена относительная ошибка измерений, равная 7 % для последней точки измерения. Из этого можно сделать вывод, что применение теоретических расчетов при разработке методов снижения акустической заметности БПЛА мультироторного типа допустимо. Однако, если определение истинных значений должно проводиться с доверительным интервалом 0,95, необходимо проведение натурных исследований уровня акустической заметности БПЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Unmanned aerial vehicle [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle (дата обращения: 01.09.2022).
2. Классификация БПЛА по летным характеристикам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/classification/classification.html>. (дата обращения: 01.09.2022).
3. Drones: reporting for work [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/> (дата обращения: 02.09.2022).
4. Беспилотный летательный аппарат БПЛА (дрон) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rusdrone.ru/news/Bespilotnyy-letatelnyy-apparat-BPLA-dron/> (дата обращения: 02.09.2022).
5. Исследование рынка дронов: применение, регулирование и перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smart-lab.ru/blog/451362.php> (дата обращения: 02.09.2022).
6. Топ-3 производителей беспилотных летательных аппаратов: от войн к победам в битвах за урожай [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glavpahar.ru/articles/top-3-proizvoditeley-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-ot-voyn-k-pobedam-v-bitvah-za-urozhay> (дата обращения: 02.09.2022).
7. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов. Научный журнал. 2017. № 9(22). С. 26—29.
8. Как выбрать двигатели для квадрокоптера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profpv.ru/kak-vybrat-dvigateli-dlya-kvadrokoptera/> (дата обращения: 08.09.2022).
9. Sound pressure [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_pressure (дата обращения: 09.09.2022).
10. Тупицына Т. В. Исследование шума: методические указания к лабораторной работе для студентов всех специальностей. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. — 32 с.

INVESTIGATION OF THE CONVERGENCE OF THE RESULTS OF THE CALCULATED AND EXPERIMENTAL METHODS FOR DETERMINING THE UAV SOUND PRESSURE LEVEL AT DIFFERENT DISTANCES FROM THE OBSERVER

- ¹ O. V. Gaivoronsky, ² V. V. Spiryagin, ¹ I. P. Bychikhin, ¹ M. R. Smirnov, ¹ P. M. Golenko, ¹ A. S. Trehlebov, ³ V. V. Spiryagin
- ¹ Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Krasnodar Territory, Russia
- ² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia
- ³ Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

The article presents the results of a study of the convergence of experimental data on the dependence of the UAV sound pressure level on the distance to the observer with theoretical values. It was found that the maximum measurement error was 7 %, which is generally acceptable when developing methods for reducing the acoustic visibility of multirotor UAVs.

Keywords: acoustics, sound pressure level, sound source, unmanned aerial vehicle.

Bibliography — 10 references.

Received January 28, 2023

УДК 656.7.025
DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_28
EDN: RHNKQKW

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЛЕСНОМ МАССИВЕ. ЧАСТЬ 1. МОНИТОРИНГ СЕКТОРА ЛЕСНОГО МАССИВА ЗАДАННОГО РАЗМЕРА

В. В. Билецкая; А. М. Жеребин, д-р техн. наук; М. И. Топорова; А. И. Широков
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Рассмотрен методический подход к обоснованию функционально-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для мониторинга лесных массивов в целях обнаружения лесных пожаров на ранних стадиях их развития.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БЛА, случайное блуждание, лесные пожары, мониторинг, оптимальные характеристики, обнаружение.

Одной из особенностей пожароопасных периодов [1] в Российской Федерации является тот факт, что в достаточно короткие сроки может наступить тот момент, когда имеющихся сил и средств становится недостаточно для обнаружения лесных возгораний даже с учетом межрегионального маневрирования. Как правило, из-за исчерпания ресурсов достижение негативного порогового значения наступает в течение 3—5 недель, а с учетом неблагоприятных погодных изменений (например, задымление на значительных территориях при действии крупных лесных пожаров) — через 2—3 недели. Именно поэтому так необходимо развивать систему охраны лесов, нацеленную на обнаружение и подавление очагов возгорания на ранних стадиях их возникновения.

В последние годы мониторинг лесов и обнаружение лесных пожаров производится преимущественно наземными системами наблюдения,

пилотируемыми воздушными судами и при помощи спутникового мониторинга. Однако каждая из этих систем имеет свои технические и практические сложности.

Своевременное обнаружение очагов возгорания может быть обеспечено путем широкого применения мониторинга лесного массива с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [2].

Основная проблема в эффективной борьбе с лесными пожарами — своевременное обнаружение и начало ликвидации возгораний на ранних этапах их развития (так называемые "возгорания класса А", площадью до 0,2 га, и "возгорания класса Б", площадью до 2 га). Обнаружение пожаров большей сложности не вызывает проблем.

Сценарий операции мониторинга лесного массива

В интересах математического моделирования рационального применения БЛА для группового мониторинга лесов и обоснования рациональной размерности БЛА примем следующую схему (тактику) их применения (рис. 1): весь исправный парк БЛА запускают и осуществляют полет в центр сектора, в секторе осуществляется мониторинг, а затем возврат на базу. После возврата весь парк переходит в состояние обслуживания БЛА, и в ходе обслуживания выявляются неподлежащие восстановлению, восстанавливаемые и исправные БЛА. После изъятия невосстанавливаемых БЛА и восстановления ремонтнопригодных

Билецкая Валерия Вадимовна, студент.

E-mail: biletiskayavv@gmail.com

Жеребин Александр Михайлович, профессор.

E-mail: amzherebin@gmail.com

Топорова Мария Илларионовна, старший преподаватель.

E-mail: toporovami@mail.ru

Широков Александр Иванович, старший преподаватель.

E-mail: shiralin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2022 г.

© Билецкая В. В., Жеребин А. М., Топорова М. И., Широков А. И., 2023

весь работоспособный парк БЛА переходит в исправное состояние и осуществляет следующий вылет.

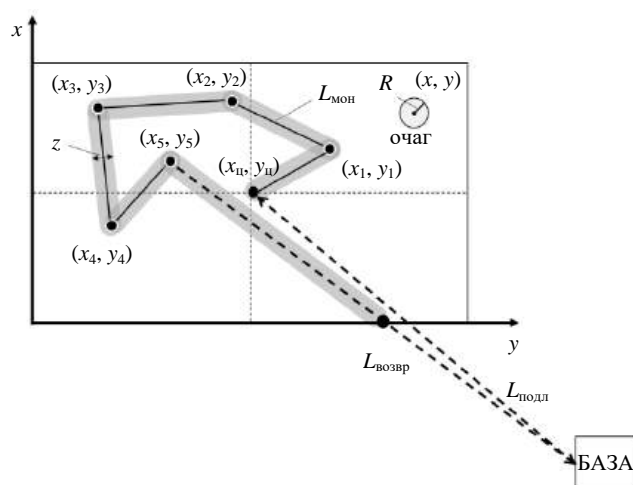


Рис. 1. Схема (тактика) применения БЛА

Так как мониторинг сектора является не одно-разовой операцией, а многошаговой и циклической, поскольку предполагает контроль местности в течение продолжительного времени, в рамках такой операции необходимо рассмотреть все состояния, в которых может пребывать БЛА (рис. 2, таблица).

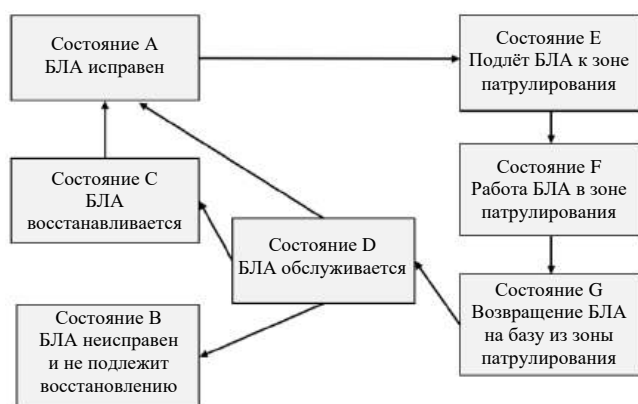


Рис. 2. Схема состояний БЛА

Возможные состояния БЛА

Литера состояния	Краткое описание состояния БЛА
А	Исправен
В	Неисправен и не подлежит восстановлению
С	Восстанавливается, так как в ходе обслуживания были выявлены неисправности (ремонтные и восстановительные работы)
Д	Обслуживается (работы по ТО, заправка/зарядка и т.п.)
Е	Осуществляет подлет к зоне патрулирования
F	Осуществляет патрулирование в зоне
Г	Осуществляет возврат из зоны патрулирования

В отличие от традиционных способов поиска объектов с помощью авиационных средств (гребенка, параллельное галсирование, расширяющийся квадрат, заданный маршрут) предлагаемый метод "случайного блуждания" осуществляемый с помощью БЛА [3], находящихся в режиме мониторинга, имеет ряд преимуществ перед регулярным групповым мониторингом. В первую очередь, нет необходимости накапливать на базе исправные БЛА для формирования группы, что ведет к потере времени. Во-вторых, при стандартных способах мониторинга траектория каждого БЛА становится индивидуальной, что усложняет подготовку полетных заданий для БЛА на базе. При случайном блуждании таких проблем не возникает.

Предварительно для каждого БЛА рассчитывается максимальное расстояние L_{\max} , которое может преодолеть БЛА, исходя из его максимально возможного времени полета, а также его скорости (может быть взято из летно-технических характеристик, либо рассчитано, исходя из емкости аккумуляторов, если это БЛА с электродвигателем, либо, исходя из расхода топлива двигателя). Далее из этого расстояния вычитаются максимальное расстояние возврата к базе ($L_{\text{возвр}}^{\max}$) и расстояние подлета от базы до середины патрулируемого сектора ($L_{\text{подл}}$), таким образом определяется максимальное расстояние мониторинга при случайном блуждании внутри сектора ($L_{\text{мон}}^{\max}$), которое может пройти БЛА до того момента, когда остатка топлива в баках хватит только на возврат к базе. Максимальное расстояние на возврат определяют от самой дальней точки на границе сектора до базы, далее определяют расстояние от базы до центра патрулируемого сектора, и, отняв эти два расстояния из L_{\max} , получим максимальную протяженность случайного блуждания при мониторинге для данного БЛА:

$$L_{\text{мон}}^{\max} = L_{\max} - L_{\text{подл}} - L_{\text{возвр}}^{\max} \quad (1)$$

Считаем, что БЛА совершает перемещение в новую точку со сменой курса в среднем каждые две минуты.

Находясь в центре патрулируемого сектора с координатами (x_c, y_c) , разыгрываем случайным образом следующую точку смены курса (x_1, y_1) , считаем расстояние до нее и перемещаемся в нее. Затем снова разыгрываем новую точку (x_2, y_2) , считаем расстояние до нее и перемещаемся в нее, и так далее. В конце возвращаемся на базу.

При этом ширина просматриваемой полосы определяется характеристиками оптики, установленной на БЛА, а именно шириной захвата z конкретной оптики на конкретной высоте. Если пожар попадает в ширину захвата, то есть его диаметр меньше либо равен ширине захвата, то считается, что он будет обнаружен.

Чтобы избежать столкновений БЛА в секторе, их высоты полета разносятся, при этом каждый беспилотник будет строго выдерживать заданную высоту.

Формальная постановка задачи оптимизации облика беспилотного летательного аппарата

Если принять в качестве критерия оптимизации W — эффективность — количество пожаров, обнаруженных группировкой БЛА в течение расчетного периода времени (например, в течение года), то необходимо найти такой вектор оптимальных характеристик БЛА a^* , который позволял бы максимизировать принятый критерий эффективности группировки БЛА:

$$a^* = \arg \max_{a \in A} W(a, C_\Sigma, N, L_x, L_y), \quad (2)$$

$$\text{при условии: } \begin{cases} C_1 N \leq C_\Sigma \\ L_x, L_y = \text{const} \end{cases}$$

где $a = (m_0, V_{\text{кр}}, L_{\text{max}}, m_{\text{пн}}, C_1)$ — вектор характеристик альтернативного БЛА;

A — множество альтернативных вариантов БЛА;

C_Σ — бюджетные ограничения.

Таким образом, облик БЛА описывается следующими характеристиками:

L_x — длина границы сектора;

L_y — ширина границы сектора;

N — численность парка БЛА;

m_0 — взлетная масса;

$V_{\text{кр}}$ — крейсерская скорость полета;

L_{max} — максимальная дальность полета;

$m_{\text{пн}}$ — масса полезной нагрузки;

C_1 — серийная стоимость одного БЛА.

При этом эффективность БЛА рассматривается в рамках цикла: вылет с базы исправного БЛА, полет в зоне патрулирования, возвращение на базу. Учитывая, что в ходе патрулирования часть БЛА может перейти в неисправное состояние, от цикла к циклу количество БЛА в группировке будет уменьшаться.

Потеря БЛА, либо отказ его аппаратуры или систем наблюдения может произойти в любой момент времени в рамках одного вылета, т. е. при нахождении БЛА в любом из состояний. В расчетах предполагаем, что отказы возникают только после длительной работы БЛА и его систем, и эти отказы могут быть обнаружены только на базе.

Для решения поставленной задачи будем использовать детерминированные модели, оперирующие средними значениями численности группировки БЛА, и при этом считается, что эффективность группировки БЛА — это эффективность математического ожидания ее текущей численности. Такие модели называются "моделями динамики средних" [3].

Примем обозначения:

n — текущее число пожаров, обнаруженных группировкой БЛА;

N — текущая численность парка БЛА;

Q — вероятность отказа (потери) БЛА в одном цикле;

\widehat{W} — вероятность обнаружения пожара БЛА в одном цикле;

T — расчетный период (например, финансовый год);

C_Σ — бюджет на год.

Тогда можно записать дискретные уравнения, описывающие численности n и N после каждого вылета:

$$\begin{cases} n_j = n_{j-1} + N_j \widehat{W} \\ N_j = N_{j-1} - N_j Q \end{cases}, \quad (3)$$

где n_{j-1} — число обнаруженных пожаров в предыдущем вылете;

N_{j-1} — число исправных БЛА после предыдущего вылета.

Далее целесообразно перейти к непрерывному аналогу этой модели:

$$\begin{cases} \frac{n_j - n_{j-1}}{\Delta t} = N_j \frac{\widehat{W}}{\Delta t} \\ \frac{N_j - N_{j-1}}{\Delta t} = -N_j \frac{Q}{\Delta t} \end{cases}, \quad (4)$$

где Δt — длительность одного цикла (зависит от скорости и максимальной дальности полета БЛА и будет варьироваться при их изменении)

$$\Delta t = \Delta t_{\text{подл}} + \Delta t_{\text{мон}} + \Delta t_{\text{возвр}} + \Delta t_{\text{обслуж}}, \quad (5)$$

при этом $\Delta t_{\text{обслуж}}$ — время обслуживания, величина постоянная.

Очевидно, что скорость полета существенно влияет на длительность цикла, особенно при большой дальности полета. Можно предположить, что с ростом скорости должна расти эффективность мониторинга W при заданном значении периода мониторинга.

Если Δt достаточно мало по отношению к T , то примем $\Delta t \rightarrow 0$, из (4) можно получить следующие два дифференциальных уравнения:

$$\begin{cases} \dot{n} = N w \\ \dot{N} = -N q \end{cases}, \quad (6)$$

где

$$w = \frac{\widehat{W}}{\Delta t}, \quad q = \frac{Q}{\Delta t}, \quad (7)$$

где w — показатель эффективности БЛА в одном вылете — интенсивность эффективности БЛА (где $\widehat{W} = \widehat{W}_1^1$ — вероятность обнаружения одного пожара одним БЛА);
 q — вероятность возникновения неисправности в одном вылете — интенсивность отказов и потерь БЛА в одном вылете.

Что касается \widehat{W}_1^1 , то в предположении, что пожар может возникнуть в любой точке равномерно распределенной по площади зоны наблюдения и положение БЛА также равномерно распределено по зоне наблюдения, можно показать, что \widehat{W}_1^1 определяется следующим образом [4–6]:

$$\widehat{W}_1^1 = \frac{S_{\text{мон}}}{L_x L_y}, \quad (8)$$

где $S_{\text{мон}}$ — площадь, осматриваемая одним БЛА,

$$S_{\text{мон}} = \begin{cases} L_{\text{мон}}^{\max} z, & \text{если } L_{\text{мон}}^{\max} z < L_x L_y \\ L_x L_y, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (9)$$

Система уравнений (6) легко интегрируется. Решив эту систему уравнений с известными начальными условиями, можно показать, что количество пожаров, обнаруженное БЛА, в момент времени $t = T$:

$$n(T) = \frac{C_{\Sigma} w}{C_1 q} (1 - e^{-qT}). \quad (10)$$

Чтобы избавиться от неопределенности, типа $\frac{0}{0}$, при $q \rightarrow 0$, выражение e^{-qT} можно разложить в ряд Маклорена и ограничиться первыми двумя членами этого ряда. Тогда:

$$\begin{aligned} n(T) &= \frac{C_{\Sigma} w}{C_1 q} (1 - 1 + qT) = \\ &= C_{\Sigma} T \frac{w}{C_1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Так как величины C_{Σ} и T — константы, имеем:

$$n(T) = C \frac{w}{C_1}. \quad (12)$$

Перейдем от интенсивностей к вероятностям:

$$n(T) = \frac{\widehat{W}_1^1(a, L_x, L_y)}{\Delta t(a) C_1(a, N)}, \quad (13)$$

где a — вектор характеристик альтернативного БЛА.

Таким образом, будет получен критерий оптимизации:

$$a^* = \arg \max_{a \in A} \left[\frac{\widehat{W}_1^1(a, L_x, L_y)}{\Delta t(a) C_1(a, N)} \right], \quad (14)$$

при условии: $\begin{cases} C_1 N \leq C_{\Sigma} \\ L_x, L_y = \text{const} \end{cases}$,

где \widehat{W}_1^1 — вероятность обнаружения одного пожара одним БЛА;
 Δt — длительность одного цикла;
 C_1 — стоимость производства одного БЛА.

Структура модельно-методического аппарата

Структура модельно-методического аппарата решения задачи оптимизации облика БЛА, предназначенного для мониторинга лесных массивов заданного размера, приведена на рис. 3.

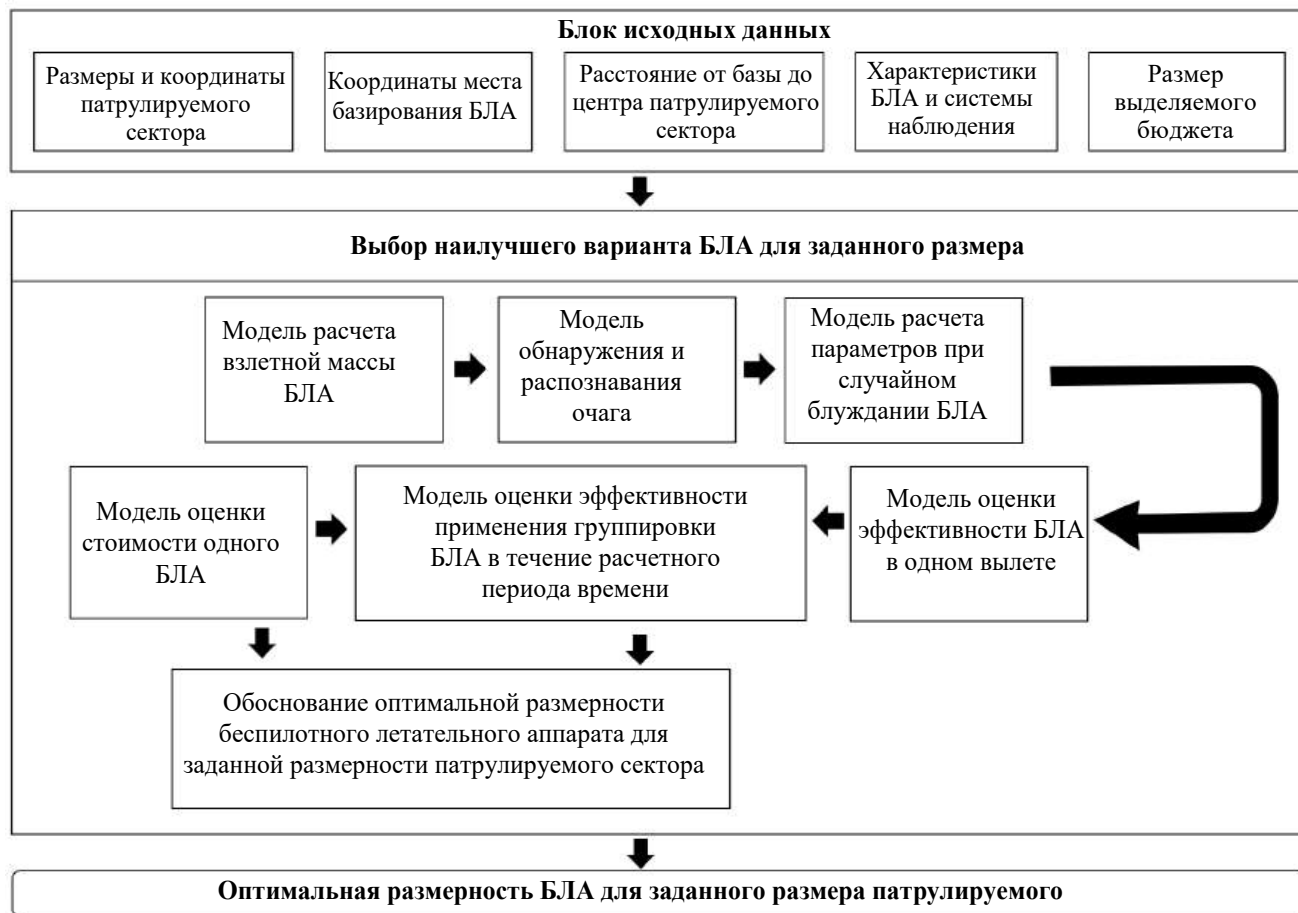


Рис. 3. Состав и структура модельно-методического аппарата

Видно, что модельно-методический аппарат существенно опирается на модели эффективности БЛА в одном вылете, а также на параметрические модели оценки взлетного веса в зависимости от дальности и скорости полета, модели исследования эффективности бортовых оптико-электронных систем, а также модели, связывающие лётно-технические характеристики БЛА со стоимостными показателями.

Параметрические модели такого типа носят стандартный проектный характер, поэтому в данной работе их особенности не рассматриваются.

Работоспособность модели. Анализ результатов

Работоспособность модели: исследовали связь оптимального (рационального) облика БЛА для

мониторинга лесных массивов различного размера [7], различных скоростей полета БЛА, различной ширины захваты оптико-электронной системы БЛА.

Результаты исследований не противоречат здравому смыслу. В качестве примера ниже приведены результаты расчетов для зоны наблюдения размером 100×100 км.

Из рис. 4 и 5 можно сделать следующие выводы: для фиксированной зоны наблюдения оптимальная дальность полета БЛА слабо зависит от размеров зоны наблюдения (для зон наблюдения от 3000 кв. км) и составляет около 2300 км, а наилучшая скорость полета БЛА лежит между 300 и 400 км/ч.

При изменении ширины захвата оптимум по дальности полета не смещается.

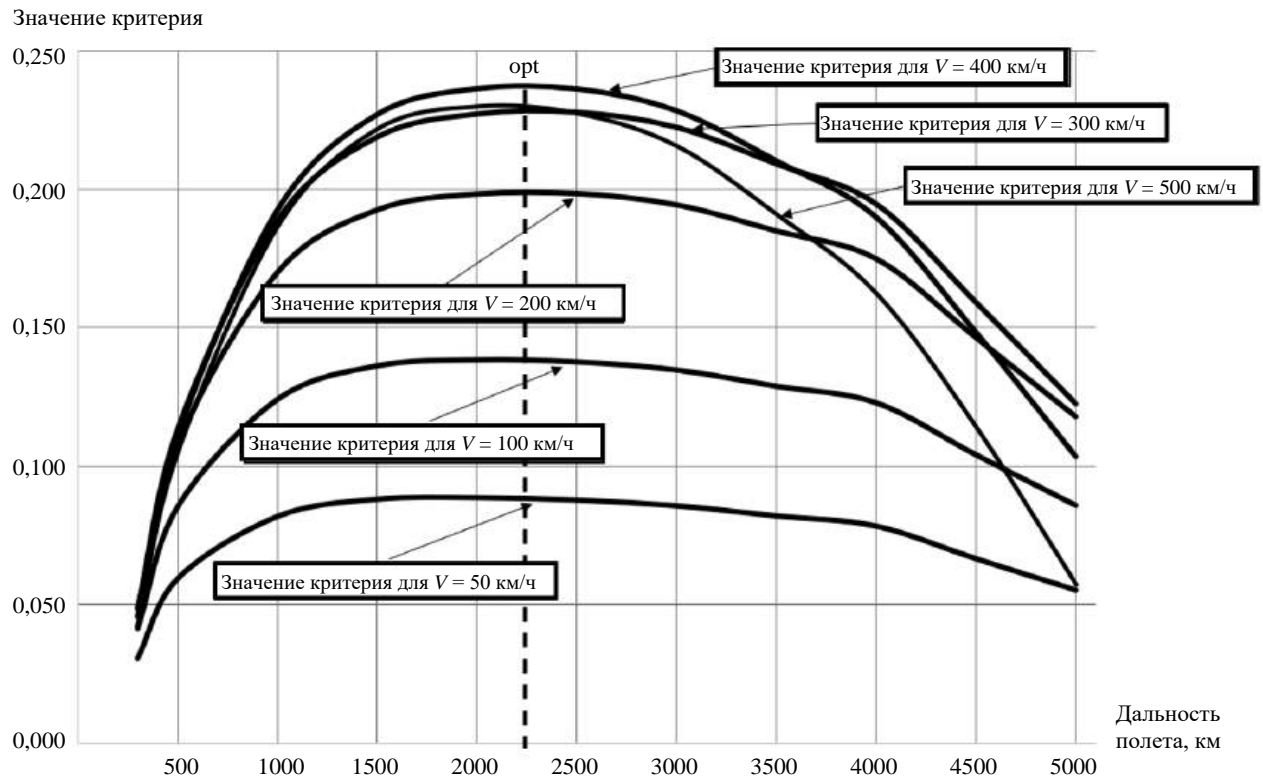


Рис. 4. Зависимость влияния скорости на значения критерия

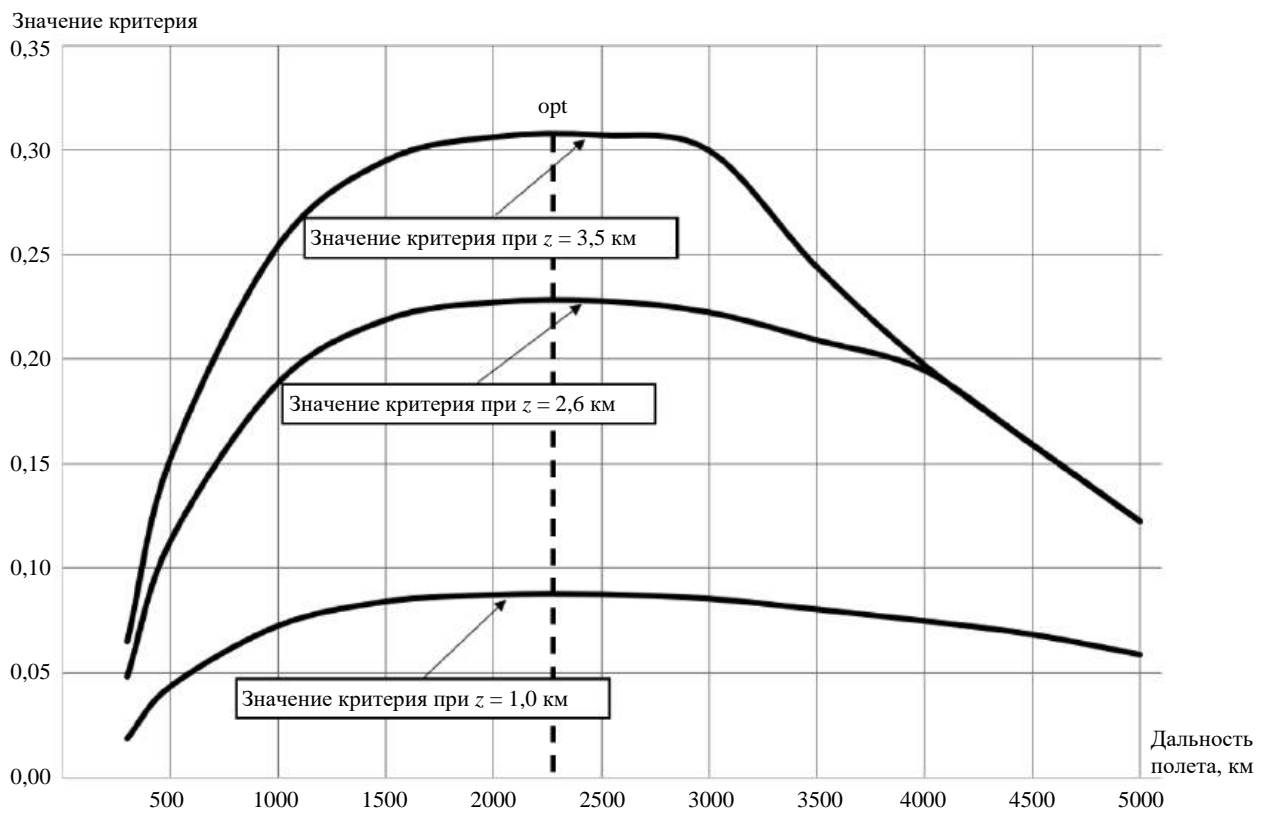


Рис. 5. Зависимость влияния ширины захвата на значения критерия

Заключение

В статье представлена критериальная основа оптимизации функционально-технического облика беспилотных летательных аппаратов мониторинга лесных массивов в целях обнаружения

пожаров на ранних стадиях. Структура математических моделей позволяет достаточно корректно провести практические исследования в интересах оптимального облика БЛА при заданном размере зоны мониторинга. Модельные расчеты демонстрируют работоспособность модельного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербов Б. Л., Лазарева Е. В., Журкова И. С. Лесные пожары и их последствия. — М.: Академическое издательство "Гео", 2015. — 138 с.
2. Иванов М. С., Аганесов А. В., Крылов А. А. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие — М.: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2015. — 616 с.
3. Жеребин А. М., Залуговская В. В., Маслова Л. А. Концепция мониторинга поверхности с применением беспилотных летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 11. С. 3—7.
4. Вентцель Е. С. Введение в исследование операций. — М.: Советское радио, 1964. — 387 с.
5. Агишева Д. К., Зотова С. А., Светличная В. Б. Теория вероятностей случайных событий: учеб. пособие. Волгоградский государственный технический университет, 2004 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://volpi.ru/files/vpf/vpf_library/TV_sluchainykh_sobytiy.pdf (дата обращения: 01.03.2022).
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. пособие. Изд. 6. — М.: Издательство "Высшая школа", 1999. — 576 с.
7. Веремеенко К. К., Желтов С. Ю., Ким Н. В., Серебряков Г. Г., Красильщиков М. Н. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. — М.: Физматлит, 2009. — 556 с.

SIZING JUSTIFICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE AIMED TO SOLVE THE PROBLEM OF FOREST FIRE DETECTION. PART 1. FOREST SECTOR OF A GIVEN SIZE MONITORING

V. V. Biletskaya, A. M. Zherebin, M. I. Toporova, A. I. Shirokov
Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Methodological approach to propose technical and functional characteristics of unmanned aerial vehicles designed for monitoring the forest areas and detecting the early stages of forest fire.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, random moving, forest fires, monitoring, optimal dimensions, detection.

Bibliography — 7 references.

Received January 16, 2023

УДК 004.94; 62-5
DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_35
EDN: RNNsAA

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЕЛОВ СКОРОСТНОГО ФОРСИРОВАНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ОБЪЕКТА С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

*А. В. Бабкин; А. В. Пузанов, канд. техн. наук; О. Е. Куликов, канд. техн. наук;
Т. М. Векшина*

АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров, Владимирская обл., Россия

Основным направлением развития систем стабилизации является повышение их скорости и точности. Их проработка проводится на макромоделях систем управления. В этом случае все упругие и нелинейные слагаемые приводятся к штокам или валам приводных двигателей. При этом на результатах не отражаются резонансные явления, наблюдаемые на реальных изделиях. Рассмотрен пример моделирования стабилизации инерционного объекта с учетом упругих свойств элементов его конструкции. В качестве сравнения приводятся результаты моделирования собственных частот механической системы в ПО Ansys.

Ключевые слова: стабилизация инерционного объекта, обеспечение устойчивости, моделирование резонанса, CAE.

Стабилизация инерционных объектов — перманентно актуальная задача улучшения боевой эффективности вооружения и военной техники. Ускорение темпов разработки достигается разносторонним и разноуровневым моделированием, обеспечивающим производство продукции, максимально соответствующей требуемым режимам работы [1, 2].

Проработку систем стабилизации инерционных объектов реализуют с использованием двух основных подходов: моделирования на макро- и микроуровнях, а также их комбинирования в мезоуровень [3]. В моделях макроуровня используют укрупненную дискретизацию пространства по функциональным признакам. Представление моделей этого уровня описывают системами обыкновенных дифференциальных уравнений.

В качестве независимой переменной в этих уравнениях используется время, зависимыми переменными являются характеристики состояния укрупненных элементов дискретизированного пространства. Такими переменными в механических системах являются компоненты сил и скоростей. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений остаются универсальным представлением моделей на макроуровне и используются при анализе динамического или стационарного состояний объектов. Стоит отметить также удобство и простоту использования подобных систем уравнений в оптимизационных процедурах.

Особенностью моделирования на микроуровне является более подробное отражение особенностей объектов (конструктивных, технологических и т. п.), а также разных физических процессов, протекающих в них самих или влияющих на них извне, рассматриваемых в непрерывном пространстве и времени. Основа моделей на микроуровне — дифференциальные уравнения в частных производных. Независимыми переменными в них выступают время и пространственные координаты. Этими уравнениями определяются напряжения, деформации, собственные частоты механических систем и т. п.

Стоит отметить, что в существующих примерах комплексного моделирования (расчет макропараметров на микроуровне). Однако этот процесс

Бабкин Алексей Валерьевич, начальник научно-производственного комплекса.

E-mail: babkin@vniisignal.ru

Пузанов Андрей Викторович, ведущий научный сотрудник.

E-mail: puzanov@vniisignal.ru

Куликов Олег Евгеньевич, начальник отдела.

E-mail: o.e.kulikov@vniisignal.ru

Векшина Татьяна Михайловна, начальник сектора.

E-mail: vekshina@vniisignal.ru

Статья поступила в редакцию 13 февраля 2023 г.

© Бабкин А. В., Пузанов А. В., Куликов О. Е., Векшина Т. М., 2023

требует огромных вычислительных ресурсов и, как правило, его используют на финальных этапах модельных исследований, в частности, для проведения виртуальных сертификационных испытаний.

В актуальной практике разработки современных изделий используют методики мезоуровня, когда в макромоделях используют зависимости параметров элементов привода, полученных в результате их анализа на микроуровне (упругость механической системы, гидромеханика взаимодействия с рабочей жидкостью, термомеханика и т. д.) [4].

Для исследований объекта (рис. 1) применяли макромодели системы управления, кинематические модели движения мультимассовых систем, микромоделей устойчивости к внешним воздействиям (анализа напряженно-деформированного состояния, резонансных (собственных) частот и т. п.) [5, 6].

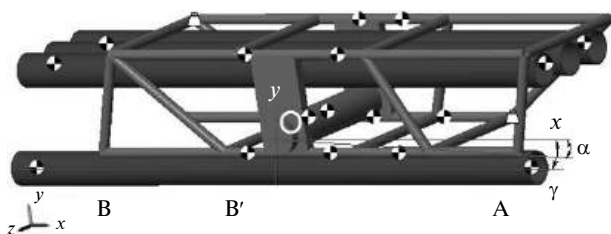


Рис. 1. Модель объекта

Как неоднократно отмечалось многими отечественными и зарубежными исследователями, устранение ошибок и недочетов на ранних этапах разработки позволяет сократить ее время и стоимость. Однако модели высшего уровня, абстрагируясь до обобщений, не позволяют учитывать упругие свойства элементов системы, в частности, приводящие к резонансным явлениям [7, 8]. Подобный подход приводит к большим погрешностям при анализе комплексных изделий, систем их управления, к уменьшению точности работы, к потере устойчивости вплоть до возникновения незатухающих колебаний и, в конечном счете, к разрушению установки.

Цель работы — исследование зависимости резонансных колебаний механической подсистемы от сигнала управления.

Модель механической подсистемы была реализована средствами Matlab/Simulink с библиотеками SimMechanics (Second Generation) [6, 9, 10].

Допущения в модели. Упругость звеньев реализована посредством введения упругих элементов (вращения линейного перемещения).

Особый интерес для исследования представляет ошибка стабилизации объекта при движе-

нии и в процессе наведения (горизонтальный и вертикальный "переброс" за минимальное время). При этом рассогласование углов наведения и положения объекта наведения (ОН) не должно выходить за пределы, определенные в ТЗ. Минимизация этой ошибки позволит определить пределы скоростного форсирования привода стабилизированного объекта. Зависимость ошибки от параметров и режимов работы системы управления и механической подсистемы обеспечит направления их совершенствования.

Контролируемые параметры:

α — угол между горизонтальной осью с центром в точке вращения корзины и передней точкой крепления ОН ($Ox \wedge AB$);

γ — угол между горизонтальной осью и линией, соединяющей переднюю и заднюю точки крепления ОН ($Ox \wedge AB$ или $Ox \wedge AB'$ в зависимости от типа крепления ОН).

Исходные данные:

- частота 7,5 Гц;
- амплитуда $\pm 4^\circ$.

Варианты моделей (установка ОН):

- моделируется приложением сил к местам крепления согласно развесовке массогабаритного макета;
- моделируется размещением полых цилиндров пусковых установок с массой, аналогичной штатному боекомплекту, с закреплением в штатных местах.

Модель с жесткими связями

Первым этапом исследований является моделирование жесткой недеформируемой конструкции с распределением масс, близким к реальному. Модель объекта состоит из пустой корзины без пусковых гнезд.

Результаты моделирования.

Для частоты вертикального движения в диапазоне $+75^\circ$ — -5° (относительно среднего положения $+35^\circ$) при амплитуде $\pm 4^\circ$ с частотой 7,5 Гц (на рис. 2, а) относительное колебание контролируемых углов не наблюдается (графики 1 и 2 на рис. 2, б).

Графики (рис. 2) отражают типичные результаты моделирования системы управления на макроуровне, когда инерционные свойства механической системы приводятся к валу (штоку) приводного движителя. Однако именно на частоте порядка 7 Гц наблюдается первая мода собственных колебаний.

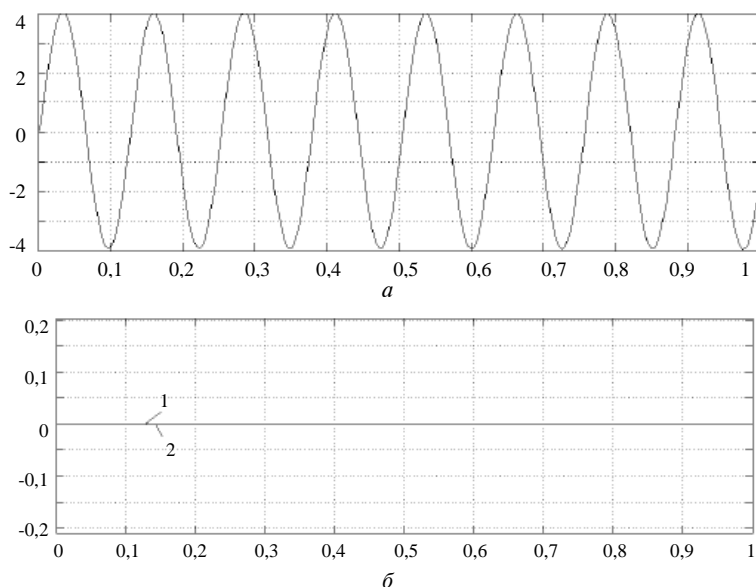


Рис. 2. Угол колебания носовой части пусковой установки (а) и линии, соединяющей передние и задние крепления (б)

Модель с упругими связями

Для улучшения качества модели, учитывающей упругие свойства элементов конструкции, в нее добавлены соединительные элементы с изменяемой продольной и изгибной жесткостью и демпфированием.

Упругость связей (продольную и изгибную) возможно определить аналитически или методом конечных элементов для балки материала, длины и сечения, соответствующих реальной конструкции.

Продольная упругость элементов каркаса корзины $\mu_z = 7,32 \cdot 10^7$ Н/м.

Изгибная упругость элементов каркаса корзины $\mu_r = 671$ Н·м/°.

1 вариант:

Амплитуда переброса $\pm 4^\circ$, частота 1 Гц.

Результаты моделирования.

Для частоты вертикального движения в диапазоне $\pm 4^\circ$ с частотой 1 Гц (рис. 3, а) относительное колебание контролируемых углов наблюдается в диапазоне от $\pm 0,5^\circ$ в момент старта со стабилизацией до $-0,1^\circ + 0,05^\circ$ через 1 сек для передней точки (график 2 на рис. 3, б) и от $\pm 0,3^\circ$ в момент старта со стабилизацией до $+0,05^\circ$ через 1 сек для продольно-осевой линии ОН (см. график 1 на рис. 3, б).

Отклонение от нулевого значения объясняется "провисанием" конструкции под нагрузкой.

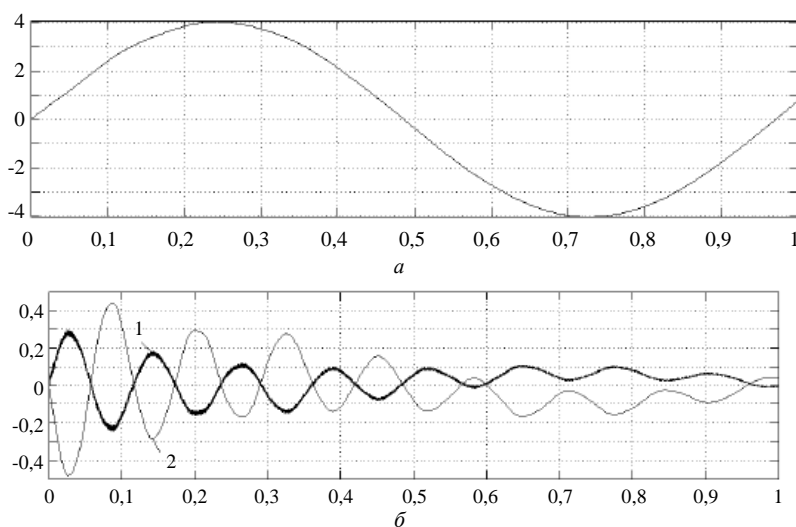


Рис. 3. Угол колебания носовой части пусковой установки (а) и линии, соединяющей передние и задние крепления (б)

2 вариант:

Амплитуда переброса $\pm 4^\circ$, частота 7,5 Гц.

Результаты моделирования.

Для частоты вертикального движения в диапазоне $\pm 4^\circ$ с частотой 7,5 Гц (рис. 4, а) в механической системе наблюдается резонанс: относительные колебания контролируемых углов превышают $\pm 1^\circ$ — для передней точки (см. график 1 на рис. 4, б) и $\pm 2^\circ$ — для продольно-осевой линии ОН (график 2 на рис. 4, б).

Результаты макро моделирования сопоставимы с результатами моделирования собственных частот колебаний конструкции на микроуровне в программном комплексе Ansys. Первая мода составила 7,29 Гц.

Стоит отметить, что в данном случае моделировался наихудший вариант — без учета корпу-

сов объектов моделирования, увеличивающих жесткость корзины.

Модель с корпусами объектов наведения

Продольная упругость корпуса ОН

$$\mu_z = 413 \times 10^6 \text{ Н/м.}$$

Результаты моделирования.

Для частоты вертикального движения в диапазоне $\pm 4^\circ$ с резонансной частотой 7,5 Гц (график рис. 5, а) в механической системе относительное колебание контролируемых углов наблюдается в диапазоне от $\pm 0,08^\circ$ в момент старта со стабилизацией до $+0,01^\circ$ через 0,15 сек для передней точки (график 1 на рис. 5, б) и от $-0,04^\circ$ до $+0,02^\circ$ в момент старта со стабилизацией до $\pm 0,005^\circ$ через 0,15 сек — для продольно-осевой линии ОН (график 2 на рис. 5, б).

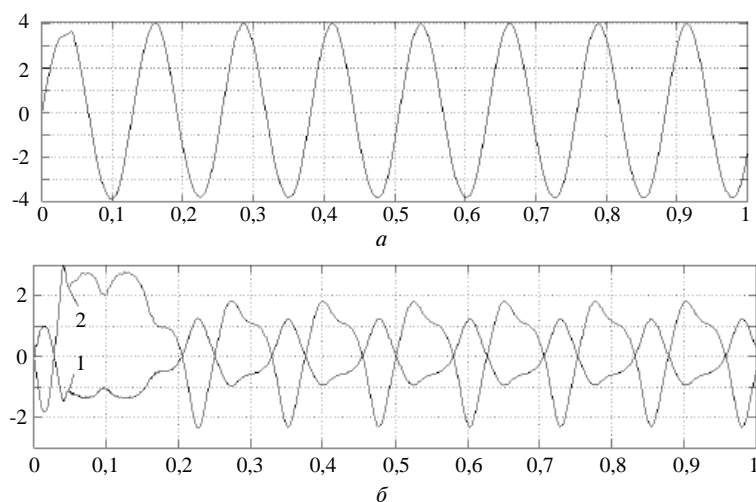


Рис. 4. Угол колебания носовой части пусковой установки (а) и линии, соединяющей передние и задние крепления (б)

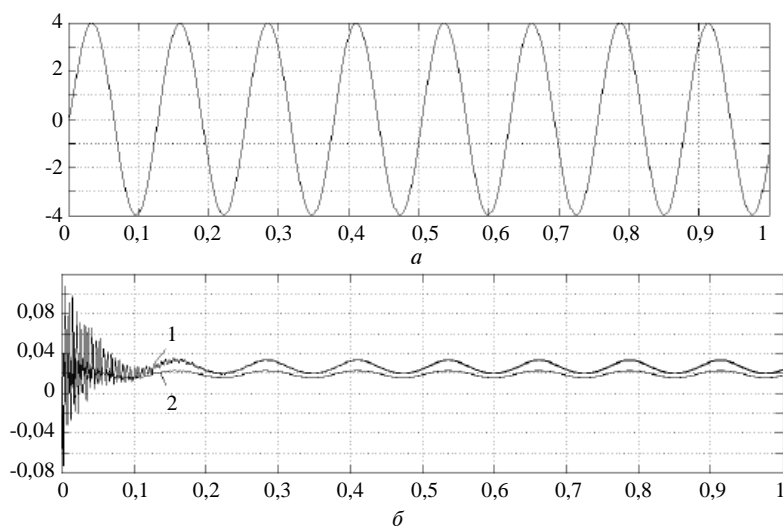


Рис. 5. Угол колебания носовой части пусковой установки (верхний график) и линии, соединяющей передние и задние крепления (нижний график)

Заключение

Создана комплексная модель управления инерционным объектом средствами программного комплекса имитационного моделирования Matlab/Simulink с применением библиотек SimMechanics (Second Generation). Данная модель позволяет определить пределы скоростного

форсирования стабилизации мультимассового объекта, обеспечивающего устойчивость механической системы.

Полученные результаты, отражающие резонансные явления механической системы, коррелируются с результатами моделирования на микроуровне в ПО Ansys и данными натурных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Б. В. Новые подходы в проектировании регулируемых электроприводов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 2. С. 25—29.
2. Пузанов А. В. Тенденции развития систем поддрессирования и стабилизации вооружения беспилотной мобильной робототехники // Автоматизация в промышленности. 2020. № 2. С. 25—27.
3. Пузанов А. В. Мультидисциплинарный анализ систем управления мобильной техники // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 10. С. 13—17.
4. Puzanov A. V. Transdisciplinary models of hydraulic drives of mobile machinery // Системный анализ и прикладная информатика. 2018. № 4. Р. 51—55.
5. Волков Ю. П., Герасимов И. М., Ролле В. Е. Расчет следящего электропривода: методические указания к курсовой работе. — СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУ РП, 2002. — 38 с.
6. Моделирование механических систем в SimMechanics [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://aeshnik.livejournal.com/28688.html> (дата обращения: 22.11.2022).
7. Дубин А. Е. и др. Платформы высокомобильных роботов специального назначения: компоновочные схемы и рекомендации // Приводная техника. 2007. № 6. С. 58—63.
8. Григорьев А. Ю., Григорьев К. А., Малявко Д. П. Колебания и виброактивность элементов машин: учеб. пособие. — СПб: Университет ИТМО, ИХиБТ, 2016. — 136 с.
9. Тихонов К. М., Тишков В. В. SimMechanics Matlab как средство моделирования динамики сложных авиационных робототехнических систем // Труды МАИ. 2010. № 41. С. 13—32.
10. Корнеев А. П., Ленеvский Г. С. Применение пакета MATLAB для исследования частотных характеристик в объектах с распределенными параметрами // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2005. № 3(22). С. 55—58.

INVESTIGATION OF SPEEDUP LIMITS OF A STABILIZED OBJECT WITH REGARD TO STRUCTURAL MEMBERS ELASTICITY

A. V. Babkin, A. V. Puzanov, O. E. Kulikov, T. M. Vekshina
Joint Stock Company All-Russian Scientific Research Institute “Signal”,
Kovrov, Vladimir region, Russia

The main trend of stabilization systems development is their accuracy and speed improvement. System engineering is performed with the use of control systems macro models. In this case all elastic and non-linear terms are reduced to rods and shafts of drive movers. The obtained results are not influenced by resonance phenomena characteristic of actual products. The paper gives a simulation example of inertial object stabilization with regard to the elasticity of the object structural members. The results of mechanical system proper frequencies simulation performed with the use of Ansys software are given for comparison.

Keywords: inertial object stabilization, stability support, resonance simulation, CAE.

Bibliography — 10 references.

Received February 13, 2023

УДК 621.396

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_40

EDN: RPDQPB

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ

Д. А. Савин, А. К. Сгибнев

МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия

Рассмотрены основные принципы работы радиолокационной станции сопровождения кругового обзора (РЛС слежения), виды помех и методы борьбы с ними. Представлены результаты варианта моделирования обработки данных, полученных с РЛС слежения в целях выявления оценки эффективности её работы в условиях пропадания и искажения поступающей информации в результате воздействия помеховых сигналов с известными статистическими параметрами.

Ключевые слова: радиолокация, РЛС слежения, экстраполяция, активные помехи, моделирование.

Типовые задачи радиобнаружения объектов и определение их дальности включают передачу электромагнитной волны к потенциальной интересующей цели, рассеяние волны целью, прием рассеянной энергии и обработку полученного сигнала. Далее аппаратура РЛС слежения применяет вычисление к принятому сигналу для получения информации о местоположении цели [1]. Первоначально разработанный радар на протяжении многих лет использовали не только для военных целей, но и для гражданского применения.

Цель данной — оценка работоспособности построенной математической модели РЛС слежения. Для этого авторами приводятся понятия о РЛС слежения, основные виды помех, нарушающих корректную работу РЛС слежения. Построена математическая модель результатов работы РЛС слежения для трех типов движения объекта, таких как линейное равномерное движение с разной скоростью без изменения высоты, и маневр без изменения высоты. Проведена экстраполяция полученных данных.

Радиолокационные станции сопровождения

РЛС слежения используются для измерения относительного положения цели по дальности, азимутальному углу, углу возвышения и ско-

рости. Затем, используя и отслеживая эти измеренные параметры, радар может предсказать их будущие значения. Отслеживание целей важно как для военных радаров, так и для большинства гражданских радаров. В военных радаров слежение отвечает за управление огнем и наведение ракеты (фактически наведение ракеты невозможно без надлежащего сопровождения цели). Коммерческие радиолокационные системы, такие, как радары управления движением в гражданских аэропортах, могут использовать отслеживание в качестве средства контроля входящих и вылетающих объектов.

Методы слежения можно разделить на отслеживание дальности/скорости и отслеживание угла. Также принято различать радары непрерывного слежения за одной целью и радары слежения за несколькими целями во время сканирования. Радары слежения используют диаграммы направленности антенн с карандашным лучом (очень узкие). Именно по этой причине необходим отдельный поисковый радар для облегчения обнаружения цели триером. Тем не менее, радар слежения должен обыскивать область, где подозревается присутствие цели. Для этой цели радары слежения используют специальные поисковые схемы, такие, как растровые, кластерные и спиральные узоры и т. д.

Отслеживание угла связано с получением непрерывных измерений углового положения цели в координатах азимута и высоты. Точность радаров слежения за углом первого поколения в значительной степени зависела от размера используемого карандашного луча. Большинство современных радиолокационных систем достигают очень точных угловых измерений за счет использования методов моноимпульсного слежения.

Савин Денис Анатольевич, магистрант.
E-mail: denissatellit@yandex.ru

Сгибнев Андрей Кириллович, магистрант.
E-mail: zgiba12345@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13 февраля 2023 г.

© Савин Д. А., Сгибнев А. К., 2023

Радары слежения используют угловое отклонение цели в пределах луча от главной оси антенны для генерации сигнала ошибки. Это отклонение обычно измеряется от главной оси антенны. Результирующий сигнал ошибки описывает, насколько цель отклонилась от главной оси луча. Затем положение луча непрерывно изменяется в попытке получить нулевой сигнал ошибки. Если луч радара направлен перпендикулярно цели (максимальное усиление), то угловое положение цели будет таким же, как и у луча. На практике это редко имеет место.

Для того, чтобы можно было быстро добиться изменения положения луча, сигнал ошибки должен быть линейной функцией угла отклонения. Можно считать, что это условие требует, чтобы ось луча была смещена на некоторый угол от главной оси антенны.

Последовательное формирование лепестков — это один из первых методов отслеживания, который использовали в радиолокационных систе-

мах раннего поколения. Последовательное лепестковое распределение часто называют переключением лепестков или последовательным переключением. Его точность отслеживания ограничена используемой шириной остронаправленного луча и шумом, вызванным механическими или электронными механизмами переключения.

Однако реализовать его очень просто. Направленный луч, используемый в последовательном распределении лепестков, должен быть симметричным (одинаковая ширина луча по азимуту и углу места).

Отслеживание достигается (по одной координате) за счет непрерывного переключения остронаправленного луча между двумя предварительно определенными симметричными положениями вокруг оси прямой видимости антенны. Принято название "последовательное деление". Ось прямой видимости называется осью слежения радара (см. рис. 1).

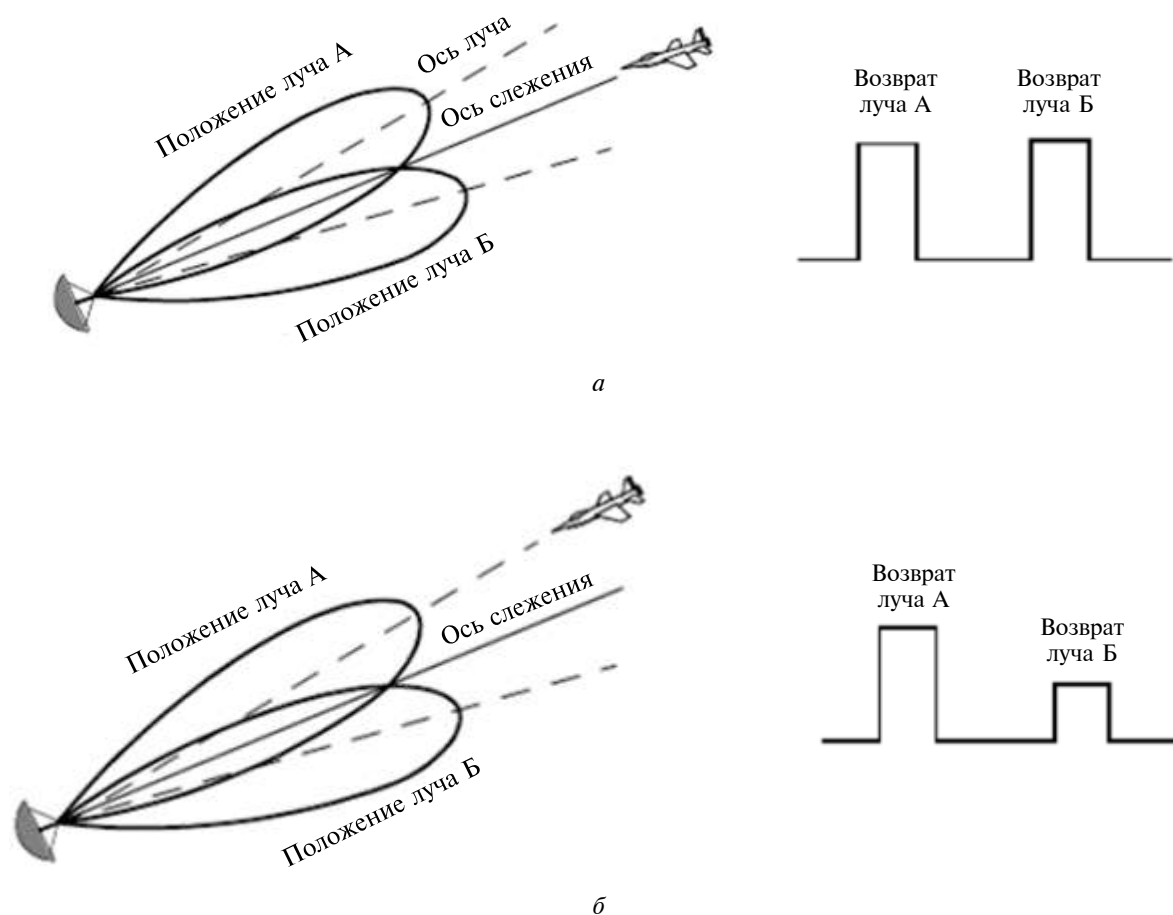


Рис. 1. Последовательное раздавливание:

a — цель расположена на оси слежения; *б* — цель отклонена от оси слежения

Когда луч переключается между двумя положениями, радар измеряет уровни отраженного сигнала. Разница между двумя измеренными уровнями сигнала используют для вычисления сигнала угловой ошибки. Например, при сопровождении цели на оси сопровождения, как в случае на рис. 1, *а*, разность потенциалов равна нулю и, следовательно, также является сигналом ошибки. Однако, когда цель находится вне оси сопровождения, как на рис. 1, *б*, генерируется ненулевой сигнал ошибки. Знак разности напряжений определяет направление, в котором необходимо перемещать антенну. Цель здесь состоит в том, чтобы разность напряжений была равна нулю.

Чтобы получить угловую ошибку в ортогональной координате, требуются еще две позиции переключения этой координаты. Таким образом, слежение по двум координатам может осуществляться с помощью группы из четырех антенн (по две на каждую координату) или группы из пяти антенн. В последнем случае среднюю антенну используют для передачи, а остальные четыре — для приема.

Коническое сканирование является логическим продолжением последовательного лепесткового сканирования, при в этом антенна постоянно вращается под углом смещения или имеет облучатель, вращающийся вокруг основной оси антенны. Частота сканирования луча в радианах в секунду обозначается как ω_s . Угол между линией прямой видимости антенны и осью вращения равен углу места ϕ . Положение луча антенны постоянно меняется, так, что цель всегда будет на оси слежения.

Упрощенная радиолокационная система с коническим сканированием представляет собой детектор огибающей, используемый для извлечения амплитуды обратного сигнала, а автоматическая регулировка усиления (APU) пытается удерживать выходной сигнал приемника на постоянном уровне. Поскольку APU работает с большим постоянным временем, она может удерживать средний уровень сигнала постоянным и при этом сохранять быстрое изменение сигнала. Отсюда следует, что отслеживание сигналов ошибок (азимут и угол места) являются функциями ЭПР цели (они являются функциями его углового положения относительно оси главного луча).

Радарные системы отслеживания во время сканирования производят выборку каждой цели один раз за интервал сканирования и используют сложные фильтры сглаживания и прогнозирования для оценки параметров цели между

сканированиями. С этой целью обычно используют фильтр Калмана и фильтр $\alpha\beta\gamma$. Как только конкретная цель обнаружена, радар может передать до нескольких импульсов для проверки параметров цели, прежде чем он установит файл отслеживания для этой цели. Положение цели, скорость и ускорение составляют основные компоненты данных, хранящихся в файле трека.

Представим принципы рекурсивных фильтров отслеживания и предсказания. Во-первых, обсуждается обзор представления состояния для линейно-инвариантных во времени (LTI) систем. Затем разрабатывают трекеры одномерных полиномиальных фильтров с фиксированным коэффициентом усиления второго и третьего порядка. Эти фильтры, соответственно, известны как фильтры $\alpha\beta$ и $\alpha\beta\gamma$. Наконец, вводят и анализируют уравнения для n -мерного фильтра Калмана с несколькими состояниями. Для обозначения используют строчные буквы с чертой внизу.

Современные радиолокационные системы предназначены для выполнения многофункциональных операций, таких, как обнаружение, отслеживание и различение. С помощью сложных компьютерных систем многофункциональные радары способны одновременно отслеживать множество целей. В этом случае каждая цель измеряется один раз (в основном дальность и угловое положение) в течение интервала задержки (сканирования). Затем, используя методы сглаживания и прогнозирования, можно оценить будущие выборки. Радиолокационные системы, которые могут выполнять многозадачные функции и отслеживать несколько целей, известны как радары Track-While-Scan (TWS).

Как только радар TWS обнаруживает новую цель, он инициирует отдельный файл отслеживания для этого обнаружения — это гарантирует, что последовательные обнаружения от этой цели обрабатываются вместе для оценки будущих параметров цели. Позиция, скорость и ускорение составляют основные компоненты файла трека. Как правило, перед созданием файла дорожки требуется по крайней мере еще одно обнаружение подтверждения (обнаружение проверки).

В отличие от систем сопровождения одиночных целей, радары TWS должны решить, относится ли каждое обнаружение (наблюдение) к новой цели или к цели, которая была обнаружена в предыдущих сканированиях. И для выполнения этой задачи радарные системы TWS используют алгоритмы корреляции и ассоциации. В процессе корреляции каждое новое обнаружение коррелируется со всеми предыдущими обна-

ружениями, чтобы избежать создания избыточных дорожек. Если определенное обнаружение коррелирует более, чем с одной дорожкой, то применяется заранее определенный набор правил ассоциации, поэтому данное обнаружение назначено на правильный трек.

Выбор подходящей системы координат слежения — первая проблема, с которой должен столкнуться радар TWS. Желательно, чтобы была принята фиксированная привязка инерциальной системы координат. Радарные измерения состоят из дальности до цели, скорости, угла азимута и угла места. Система TWS размещает ворота вокруг целевой позиции и пытается отслеживать сигнал внутри этих ворот. Размерами ворот обычно являются азимут, угол места и диапазон. Из-за неопределенности, связанной с точным положением цели во время начального обнаружения, ворота должны быть достаточно большими, чтобы цели не перемещались заметно от сканирования к сканированию, точнее, цели должны оставаться в пределах границ ворот во время последовательных сканирований. После наблюдения за целью в течение нескольких сканирований размер ворот значительно уменьшается.

Стробирование используют, чтобы решить, назначать наблюдение существующему файлу трека или новому файлу трека (новое обнаружение). Алгоритмы стробирования обычно основаны на вычислении расстояния статистической ошибки между измеренным и оценочным радиолокационными наблюдениями. Для каждого файла трека обычно устанавливают верхнюю границу этого расстояния ошибки. Если вычисленная разница для определенного радиолокационного наблюдения меньше, чем максимальное расстояние ошибки данного файла трека, тогда наблюдение назначают этому треку.

Все наблюдения, у которых расстояние ошибки меньше максимального расстояния данной дорожки, коррелируют с этой дорожкой. Для каждого наблюдения, которое не коррелирует ни с одним из существующих треков, соответственно создается новый файл треков. Поскольку новые обнаружения (измерения) сравнивают со всеми существующими файлами треков, файл треков может затем коррелировать с отсутствием наблюдений или с одним или несколькими наблюдениями. Корреляция между наблюдениями и всеми существующими файлами треков определяется с помощью матрицы корреляции. Строки корреляционной матрицы представляют собой радиолокационные наблюдения, а столбцы представляют файлы треков. В случаях, когда несколько наблюдений коррелируют

с более чем одним файлом дорожек, можно использовать набор предопределенных правил ассоциации, чтобы одно наблюдение было назначено одному файлу дорожек [1—3].

Основные виды помех и меры их подавления

Активные помехи появляются из-за электромагнитных сигналов или переизлучения сигналов РЛС передатчиками, которые устанавливают на самолёты, вертолёты или наземные станции помех. Наиболее часто используемыми видами активных помех являются активные шумовые и импульсные помехи.

Шумовые помехи — это электромагнитные колебания на частоте подавляемой РЛС, модулированные случайными шумами. Активная шумовая помеха усложняет выделение сигнала от цели на фоне помехи, а также осуществление автоматического или ручного сопровождения цели. Одним из эффективных способов защиты от активных шумовых помех является перестройка частоты станции на запасную рабочую частоту.

Импульсные помехи — это последовательность высокочастотных импульсов, которые создает передатчик помех на частоте подавляемой РЛС. Импульсные помехи бывают синхронные и несинхронные.

Синхронные импульсные помехи появляются путём генерации их передатчиками помех, частота которых равна или кратна частоте подавляемой РЛС. У несинхронных импульсных помех частота не соответствует частоте подавляемой РЛС. Несинхронные помехи могут сгенерироваться РЛС, работающими в этом же частотном диапазоне, особенно однотипные станции, размещенные на небольшом расстоянии.

Основным отличием синхронных и несинхронных помех является то, что скорость перемещения импульсов синхронной помехи близка к скорости цели. Импульсы несинхронной помехи двигаются по развертке с большей скоростью. Одна из разновидностей импульсных помех называется "уводящей". Свое название она получила, потому что данный тип помехи срывает автоматическое наведение и уводит РЛС в сторону от цели. При применении данного типа помехи её мощный импульс следует синхронно с отраженным от цели сигналом, а затем начинает его опережать или отставать.

Основным средством защиты РЛС от воздействия импульсных помех является плавное изменение частоты повторения зондирующих импульсов — вобуляция. При включении данного

режима импульсы синхронных и несинхронных помех сдвигаются относительно предыдущих значений, полезный сигнал от цели не перемещается относительно предыдущего и остается прежним, что позволяет выделить его среди ложных.

Пассивные помехи возникают за счёт отражения электромагнитной энергии излучаемой РЛС как от металлизированных лент, нитей стекловолокна, специальных уголков и т.д., так и от облаков, осадков, земной поверхности и местных предметов. Для защиты от пассивных помех и отражений от местных предметов применяют систему селекции движущихся целей [4].

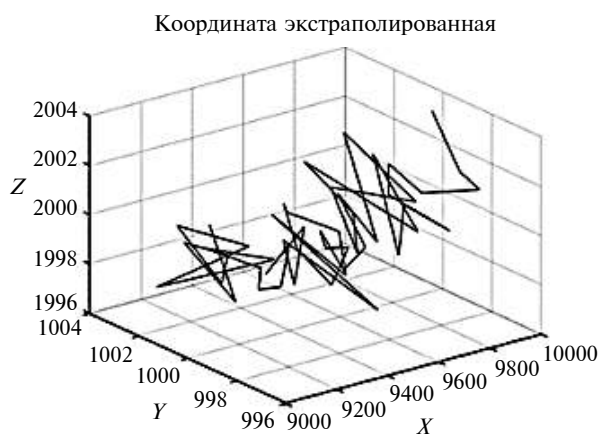
Математическая модель РЛС сопровождения

В качестве примера для математического моделирования РЛС сопровождения была взята трехкоординатная РЛС кругового обзора с периодом вращения 1 с. Ошибки выработки координат были распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, средне-

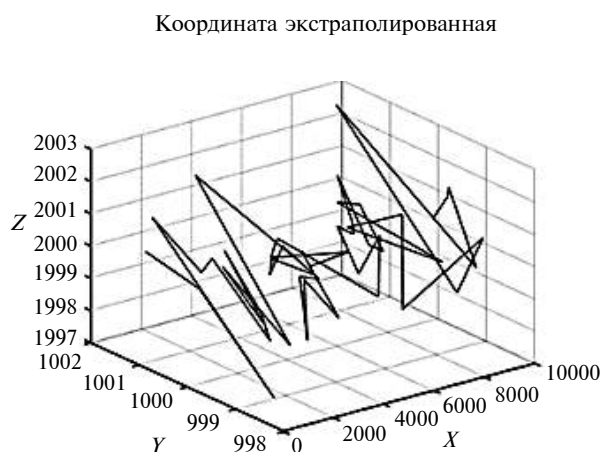
квадратическим отклонением по углам $0,01^\circ$, по дальности — 25 м.

Был построен алгоритм фильтрации и экстраполяции данных РЛС (рис. 2) для непрерывного определения текущих координат объекта с частотой 10 Гц: по трем последним измерениям в моменты времени t_0 , $t_0 - 1с$, $t_0 - 2с$ определяют скорость объекта в период от t_0 до $t_0 - 1с$ и в период от $t_0 - 1с$ до $t_0 - 2с$; движение объекта пролонгируется равномерно и прямолинейно со скоростью $V = \alpha V_1 + \beta V_2$; $\alpha = 0,25$; $\beta = 0,75$

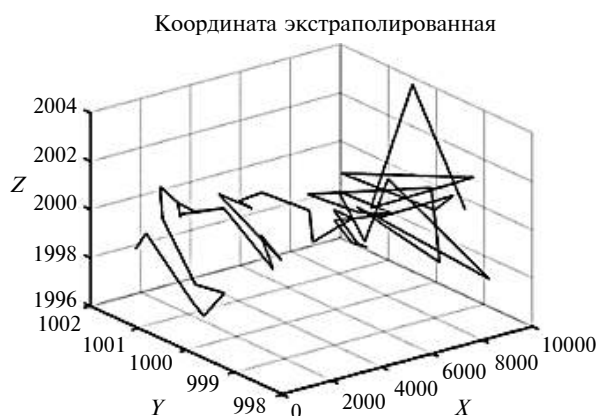
Моделирование проводили в пакете Matlab (Trial version). Трехмерное движение объекта было задано в цикле с количеством итераций равным 50 для трех случаев: для прямолинейного равноускоренного движения на большой скорости, на малой скорости, и для случая выполнения объектом маневра без изменения высоты. Симуляция работы радиолокатора была выполнена с помощью фиксации координат через равные промежутки времени, кратные одной секунде, как показано на рис. 3 [5, 6].



a



б



в

Рис. 2. Графики экстраполированных типов движений:
a — медленное; *б* — быстрое; *в* — маневр

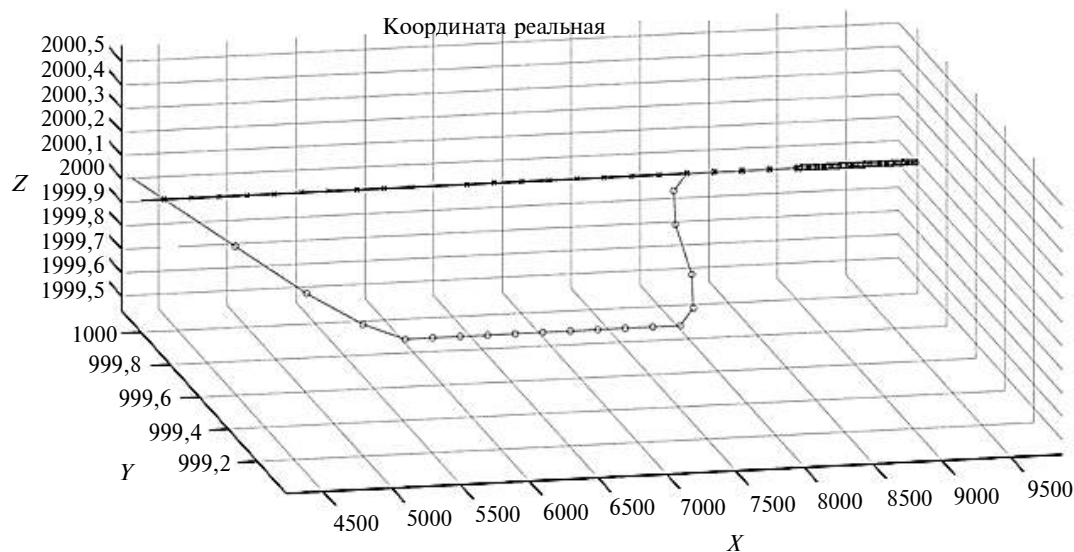


Рис. 3. График движения объектов с разными типами движения
—x— — маневр; —⊗— — медленное; —○— — быстрое

Заключение

Рассмотрены понятия о РЛС слежения, виды помех, нарушающих корректную работу РЛС слежения, построена математическая модель работы РЛС слежения, для трех типов движения объекта. В программе Matlab получены графики

движения объекта и экстраполяции. Исследовано влияние первоначальных скоростей и координат на работу разработанной модели.

Сделаны вывод, что разработанная математическая модель наиболее эффективна при равномерном движении, при движении по произвольной траектории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации / Под ред. Сколника М. И. / Пер. с англ. под общей ред. Вербы В. С.: В 2-х кн. Кн. 1. — М.: Техносфера, 2015. — 627 с.
2. **Полунин С. В.** Радиолокационные станции: история и основные принципы работы [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevye-mashiny/radiolokatsionnaya-stanciya/> (дата обращения: 26.02.2023).
3. **Гришко А. К., Тумакова И. А., Андреев П. Г., Мокшанцева А. В., Пакайкин А. А.** Классификация естественных радиопомех и основные методы борьбы с ними // Труды Международного симпозиума "Надежность и качество". 2019. Т. 2. С. 283—287.
4. **Бакулев П. А.** Радиоэлектронные системы : учеб. для вузов. — М.: Радиотехника. 2004. — 320 с.
5. **Mervin C. Budge, Shawn R. German.** Basic Radar Analysis. — ARTECH HOUSE, 2015. — 727 p.
6. **Лайонс Ричард.** Цифровая обработка сигналов. Изд. 2. / Пер. с англ. — М.: ООО "Бином-Пресс", 2006. — 656 с.

SIMULATION OF THE OPERATION OF THE RADAR TRACKING STATION

D. A. Savin, A. K. Sgibnev

MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia

This article discusses the basic principles of operation of a radar station for tracking a circular view (hereinafter tracking radar), types of interference and methods of combating them, and the results of a variant of modeling the processing of data obtained from a tracking radar in order to identify and evaluate the effectiveness of its operation in conditions of loss and distortion of incoming information as a result of interference signals with known statistical parameters.

Keywords: radiolocation, tracking radar, extrapolation, active interference, simulation.

Bibliography — 6 references.

Received February 27, 2023

УДК 681.5

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_46

EDN: RXDYRL

ПЕРЕДОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ СКЛАДСКИХ АВТОНОМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. М. Зотов, А. А. Жиленков, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрено понятие складских роботов, их классификацию по техническим возможностям и по степени автономности, а также различные навигационные технологии, используемые для передвижения роботов по складам. Проведен краткий обзор истории создания складских роботов и развития технологий на протяжении последних 60 лет. Рассматривается понятие робототехнического комплекса и его основные составляющие, уровни его автономности в зависимости от наличия общей системы и используемых роботов, а также пример алгоритма организации работы такого комплекса. Разбираются примеры передовых решений в области складских робототехнических систем и роботов для автономной работы на складах и производствах. Рассматривается ситуация с автоматизацией складских процессов в России и мире.

Ключевые слова: складские роботы; автоматизация складов; роботизированные склады; робототехнический комплекс.

Роботизированные склады становятся всё более популярными и актуальными. Это произошло из-за резкого роста интернет-торговли, сокращения времени доставки, ну и, конечно, во время пандемии COVID-19 во много раз выросла потребность доставки товаров прямо до двери дома. В результате роста нагрузки происходит дальнейшее увеличение важности складских автономных систем. Автоматизирование складов не только увеличивает производительность, но также даёт выгоду в экономии фонда оплаты труда и издержек на обслуживающий персонал [1, 2].

Складские роботы

Складские роботы — роботы, которые предназначены для работы на складах. Разнообразие складских роботов на основе их технических возможностей:

Зотов Михаил Михайлович, инженер кафедры "Киберфизические системы".

E-mail: zotovsgtu@gmail.com

Жиленков Антон Александрович, доцент, заведующий кафедрой "Киберфизические системы".

E-mail: zhilenkovanton@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2023 г.

© Зотов М. М., Жиленков А. А., 2023

1) *Тележки*. Эта разновидность складских роботов обеспечивает автономное передвижение паллет на складе: сначала роботы выполняют сбор товара с конвейера, затем сортируют его по стеллажам и контейнерам, а также обеспечивают погрузочно-разгрузочные работы.

2) *Паллетайзеры, штабелеры*. Они представляют собой автоматические манипуляторы, которые используются для распределения товаров в поддоны.

3) *Сортировщики*. Они сортируют заказы и товары.

4) *Робокары или буксировщики*. Они нужны для перевозки товаров на большие дистанции по данной программе.

5) *Дроны*. Иногда используются для работы в высоких помещениях.

Также роботы классифицируют по степени автоматизации на AGV (транспортные средства с автоматическим управлением) и на AMR (полностью автоматические мобильные аппараты). Их различие в том, что в первых используются довольно простые системы датчиков, и при возникновении препятствия они останавливаются, а последующие манёвры будут производиться по команде оператора, во-вторых же есть бортовой компьютер, который может самостоятельно анализировать сигналы множества датчиков. Поэтому AMR могут перемещаться сами, без оператора, обходя препятствия и выбирая маршрут

следования. Также они обладают множеством преимуществ, перечислим 3 основных из них:

1. *Гибкость и быстрое внедрение*: поскольку нет необходимости предварительно определять маршруты, по которым должны следовать эти машины, фаза развертывания значительно сокращается. Робот способен "принимать решения" и адаптироваться к изменениям на основе информации в своем окружении за счет использования ИИ и машинного обучения. Например, он может различать стеллаж (постоянное препятствие) и вилочный погрузчик (временное препятствие), действуя соответствующим образом.

2. *Точность*: достижения в области навигационных технологий, роботизированного зрения и датчиков повышают безопасность и ловкость роботов при выполнении задач.

3. *Возможность подключения*: мобильные роботы интегрированы с другими системами, работающими в установке. Это усиливается постепенным внедрением технологии 5G. Таким образом, эти роботы могут совершенствовать свою работу и представляют собой дополнительный источник данных о логистических операциях, происходящих на складе.

AMR могут делиться по задачам, которые они выполняют:

- Мобильные роботы для комплектации (тип метода сбора, используемого на объекте, который будет определять, какие задачи будут выполняться с помощью AMR):

- AMR для подбора товара от человека к продукту: мобильный робот служит в качестве тележки для сбора, автономно сопровождая оператора. Таким образом, работник отвечает за выбор продуктов с полок и размещение их в роботе. После завершения этого процесса мобильный робот сам доставляет товар в зону консолидации и упаковки. Это избавляет оператора от необходимости покидать зону комплектации.

- AMR для подбора товара от человека к человеку: этот тип робота может поднять всю полку (обычно маленькую или среднюю), содержащую продукт, и переместить ее на станцию выбора. Таким образом, AMR размещает полки так, чтобы оператор мог готовить заказы, не перемещаясь. Как только рабочий закончил, робот возвращает полку на место и выполняет следующую задачу. Оба типа автономных роботов могут быть оснащены системами выбора товаров, которые помогают сотрудникам выбирать продукты.

- Мобильные роботы для сортировки:

- AMR для сортировки имеют откидывающийся лоток и считыватель штрих-кода, позволяющий им сортировать посылки и помещать их в соответствующую исходящую линию. На станции подбора оператор помещает посылки в робота, который, в свою очередь, сканирует этикетку, обрабатывает информацию и доставляет посылки в зону отправки.

- AMR роботы, работающие на антресолях. Они имеют входные каналы для товаров, поступающих с верхнего уровня, и выходные пандусы, ведущие в зону отправки. Рабочие помещают пакеты в роботов, которые принимают поступающие продукты, сортируют их и доставляют к соответствующему выходу.

Согласно анализу рынка автоматизированных управляемых транспортных средств Research and Markets, в 2019 г. была отмечена следующая рыночная тенденция: в секторе AGV наблюдался общий рост продаж на 6,8 %. В то же время, согласно отчету консалтинговой фирмы IDC, в секторе AMR рост продаж увеличился более чем на 20 %. Однако значимым остается не факт "победы" одной системы над другой, а то, что эти системы удовлетворяют разные потребности. AGV, например, чрезвычайно эффективны при работе с тяжелыми грузами в установках со стабильной работой с течением времени (например, на объектах, связанных с производственной логистикой). Это объясняет успешное внедрение данных систем в автомобильную и пищевую промышленность. AMR же, в свою очередь, более эффективны в динамичной среде с автономной навигацией. Эти системы создают и сохраняют местоположение или карту объекта, чтобы найти альтернативный путь, если на определенном маршруте есть препятствие. Они также требуют минимального сброса, если есть какие-либо изменения, связанные с объектом, поскольку AMR можно распаковать и запустить в работу в течение одного часа (при условии, что они уже сопоставлены с объектом). Поэтому такие системы начали активно проникать в компании, одной из важных задач которых является доставка товаров и грузов.

Для передвижения робота по складу используются различные навигационные технологии:

- Провод, который проложен в стенах и полу.
- Магнитная лента
- Лидары (LIDAR). Благодаря этому предоставляется возможность формирования 3D-моделей и карт предприятий с использованием дистанционного зондирования с помощью лазерного импульса.

- Оптическая навигация, благодаря которой предоставляется техническое зрение с помощью специальных датчиков для ориентирования в пространстве.

- Искусственный интеллект. Относится к разряду новейших навигационных методов, позволяющих роботу самостоятельно делать выбор об изменении маршрута следования.

Кроме того существуют и другие виды роботов.

Роботизированные руки. Компании годами используют роботов-манипуляторов в производстве и при дистрибуции ящиков. Благодаря системам технического зрения и разработкам в области технологии концевых эффекторов (захватов), стало возможным повысить производительность операций по захвату и перемещению деталей. Данные руки могут быть установлены на мобильном роботе или использоваться для выполнения задач по сбору. Их также можно постоянно размещать для выполнения повторяющихся действий, включая размещение пустых коробок на подвесном конвейере. Манипулятор также может добавлять отдельные единицы в сортировщик штучных грузов и организовывать их в маршруты отгрузки для исходящих поставок. Благодаря этому на складе может снизиться потребность в рабочей силе на станциях комплектования, работы со стеллажами и на отгрузочном доке.

Совместные боты (Co-Bots). Среди новейших категорий роботов коботы или сороботы — это те, которые взаимодействуют с людьми в совместном рабочем пространстве. Коботы занимают место между полностью автономными роботами и управляемыми человеком. Многие из них были разработаны, чтобы следовать за рабочими, поскольку они выбирают разные заказы во время движения. Другие могут работать автономно в среде, где также работают люди; благодаря их сложным датчикам вероятность столкновения минимальна. Основным преимуществом коботов является их способность минимизировать время поездки сборщиков, которые сотрудничают с ними. Сборщики проводят большую часть своего времени в пути, и эти боты сокращают часть времени, затрачиваемого на транспортировку.

Стоимость автономных мобильных роботов, не меньше стоимости традиционных автоматизированных систем. За последние несколько лет сектор промышленной робототехники переживает резкое падение цен из-за развития технологий и эффекта масштаба, исходя из данных ARK Investmen Management.

В любом случае, поскольку эта система не требует внесения серьезных изменений в храни-

лище, существуют различные варианты заключения контрактов. Можно приобрести автономных роботов или, в качестве альтернативы, заплатить за лицензию на их использование, известную как модалность RaaS (робототехника как услуга). Это открывает перед бизнесом целый ряд возможностей при реализации проекта с автономными мобильными роботами.

История создания и развитие технологии складских роботов

История создания первых складских роботов начинается в 1960-е гг. Из-за низкого уровня компьютеризации они передвигались по нанесённым магнитным линиям на складе. Также была существенная проблема по причине маленькой автономности — недостаточное обеспечение безопасности. Поэтому только в 90-е гг. XX в., благодаря развитию компьютеров, оказалось доступным создание современных роботов.

Разрабатывание первых складских роботов начинается с предпринимателя Майкла Маунтца и построенной им в 2003 г. кампании Kiva Systems. При изучении причин банкротства купного онлайн-ритейлера Webvan, Маунтц обнаружил, что главной причиной были очень большие складские расходы, т. е. непомерная стоимость для формирования заказа. Поэтому он решил создать робота для автоматизации работ по складу.

Первые две функционировавшие модели роботов были сконструированы в 2010 г. Они могли работать с грузами 400 и 1200 кг, а также самостоятельно передвигаться по нанесённой разметки со штрихкодами.

В марте 2012 г. Kiva Systems была приобретена крупной кампанией Amazon, которая заинтересовалась их изобретением и разработками. После этого скорость совершенствования роботов сильно увеличилась. В 2015 г. кампания получила название — Amazon Robotics. В июне 2019 г. на складах Amazon использовались более 200 000 роботов, созданных кампанией.

Робототехнический комплекс

Возведение робототехнического комплекса является одним из возможных решений, благодаря которому стало возможно произвести автоматизацию в данной области. При помощи него можно автоматизировать многие действия, которые происходят на складе: погрузка и разгрузка различных товаров и грузов, их перемещение.

Автономность склада может проявляться и в точном расчете наилучшего размещения товаров и грузов.

Существуют различные составляющие, благодаря которым комплекс может нормально функционировать. Основные из них это:

- Система управления. Её задачи заключаются в установлении цели, организации управления мобильных роботов на складе и улучшении различных логических процессов склада.
- Колёсные мобильные роботы с высокой грузоподъёмностью. Они могут выполнять различные механические действия, такие как помещение товаров и грузов, а также их погрузку и разгрузку, благодаря оснащению манипулятором.

Разберем типичный пример алгоритма работы рассмотренных выше составных частей робототехнического комплекса:

- На первом этапе система управления получает информацию о требовании погрузить груз А в определенное время.
- На втором этапе система управления проводит систематический анализ информации о данном грузе, импортирует данные о стеллаже, на котором находится груз.
- На третьем этапе система управления прокладывает маршрут для свободного мобильного робота, учитывая местоположение других роботов (с целью предотвратить столкновения (конфликты) при пересечении траекторий).
- На четвертом этапе мобильному роботу поступает информация о необходимости перемещения по строго заданному маршруту.
- На пятом этапе мобильный робот выполняет следующие задачи: детекцию груза, его захват и передвижение в зону погрузки.

Различают три уровня автономности робототехнических комплексов в зависимости от наличия общей системы и используемых роботов:

1. Первым уровнем является абсолютная автоматизация, когда операциональная структура обеспечивается исключительно роботами, а человек не принимает в процессе никакого участия.

2. Вторым уровнем является Cobotics, когда оператор (человек) управляет действиями роботов, выполняющих работу на складе.

3. Третий уровень — Co-biotics — позволяет обеспечивать логистику склада несколькими роботами разного вида, которые автономно взаимодействуют друг с другом, а оператор контролирует их работу и отвечает за техническое обслуживание.

Благодаря использованию такого комплекса повышается производительность (робот эффек-

тивнее примерно в 3,5 раза, чем человек), исключается человеческий фактор, роботы могут долго работать без отдыха и самостоятельно перевозить тяжёлые грузы, а маленькие погрузчики не требуют больших проходов, что позволяет экономить пространство склада. Но экономическую целесообразность нужно просчитывать индивидуально для каждой компании, ведь автоматизация и постройка такого комплекса достаточно дорогая.

Передовые решения в области складских автономных робототехнических систем

На современном этапе развития передовых технологий, существует множество новых решений для автоматизации всех видов логистических процессов — от приемки товара до отгрузки продукции. Рассмотрим некоторые из лучших решений:

I. Автоматизация приема и отправки товаров.

Поступление товара — это первый этап товарных потоков на логистическом объекте. Компании часто автоматизируют управление этой операцией, чтобы обеспечить строгий контроль поступающих продуктов, а также проверить, соблюдают ли поставщики все правила отправки заказов на поставку. Основными решениями для автоматизации приема и отгрузки продукции являются:

- Автоматические системы загрузки и разгрузки грузовиков, также известные как автоматизированные системы загрузки грузовиков (ATLS). Автоматизация данной операции требует минимального вмешательства человека.
- Автоматизированные системы проверки поддонов. Эти рабочие станции, расположенные на входе в автоматизированную систему хранения (AS) и поиска (RS), проверяют, соответствуют ли поступающие поддоны требованиям обработки и не могут ли они повредить автоматизированную систему хранения и поиска.
- Сортировщики. Эти автоматические системы сортировки продуктов состоят из конвейеров, которые направляют единичные грузы в соответствии с их назначением.

При автоматизации приема товаров логистическая программа, такая как система управления складом (WMS), играет важную роль в координации функций автоматического оборудования. Например, как только система проверки обнаруживает, что поддон находится в хорошем состоянии, WMS направляет товар на хранение, назначая ему место в AS/RS.

II. Методы подбора товара к человеку. В этом методе используются машины или роботы для доставки товаров на станции подбора. Эти автоматизированные решения перемещают товары на станцию оператора, избегая ненужных перемещений по объекту. Рассмотрим примеры решений:

- Краны-штабелеры для поддонов или ящиков. Это автоматическое погрузочно-разгрузочное оборудование перемещается вверх и вниз по проходам AS/RS, укладывая и убирая товары со стеллажей. Эти машины оптимизируют обработку товаров, выполняя комбинированные циклы; т. е. при хранении поддона или ящика в AS/RS они используют это движение, извлекая из системы другую единицу груза.

- Конвейеры для ящиков или поддонов. Эта внутренняя система транспортировки товаров соединяет две или более зоны склада. Конвейеры автоматизируют поток поддонов или ящиков в зоне приема.

- Автоматизированные управляемые транспортные средства (AGV). Это автоматическое погрузочно-разгрузочное оборудование перемещает единичные грузы между двумя или более зонами объекта без участия водителя. Эти машины обычно дополняют другие автоматизированные системы хранения и внутренней транспортировки. Их функции заключаются, в частности, в транспортировке тяжелых грузов на производственные линии.

- Автономные мобильные роботы (AMR). Это передовое технологическое решение. Такие роботы осуществляют перемещение товаров на складе автономно. AMR включают в себя камеры и современные датчики для анализа окружающей обстановки и быстрой и безопасной транспортировки продуктов в рабочие зоны, где их принимают операторы.

III. Автоматизация комплектования. Комплектовка заказов — одна из самых сложных логистических операций. Внедрение решений, облегчающих задачи комплектовки, повышает скорость и точность обработки заказов. Рассмотрим некоторые из наиболее распространенных решений для автоматизации комплектования:

- Pick-to-light. Технология выполнения заказов, которая заключается в установке числовых дисплеев на местах стеллажей, для того чтобы направлять операторов, когда они выполняют комплектацию. Световые дисплеи управляются программным обеспечением для управления складом.

- Голосовой подбор. С помощью этого решения операторы получают голосовые команды

через наушники, подключенные к системе управления складом (WMS).

- Промышленные роботы-манипуляторы. Эти промышленные роботы увеличивают количество подборов в час. Роботизированные руки имитируют движения человеческой руки, они могут справляться с более тяжелыми нагрузками быстрее, чем человек, и при этом не испытывать утомления.

Примеры передовых роботов для автономной работы на складах и производствах

Виды роботов для перемещения грузов от японской компании Omron:

1. Omron LD-60/90. Имеет грузоподъемность 60 и 90 кг, а из-за своих малогабаритных размеров и хорошей мобильности отлично подходит для работы на складе, в котором даже могут находиться сотрудники, благодаря специальным датчикам. Модель оптимизирована для передвижения тележек.

2. Omron LD-250. Это одна из новейших разработок компании. Он имеет грузоподъемность 250 кг соответственно. Одно из главных его преимуществ — это универсальность, т. к. со сравнительно маленькими размерами он способен перемещать довольно тяжелые грузы. Поэтому его могут использовать и на складах, и в промышленных цехах.

3. Omron HD-1500. Он имеет грузоподъемность в 1500 кг. Это самый мощный тип модели этой компании и, несмотря на его характеристики, он обладает достаточной безопасностью, которую обеспечивают лидары. Эта модель чаще всего используется в производстве для передвижения сырья или уже готовой продукции.

Виды AMR-роботов для перемещения грузов от датской компании MiR:

- MiR200, который обладает грузоподъемностью 200 кг.

- MiR250, который обладает грузоподъемностью 250 кг.

- MiR500, который обладает грузоподъемностью 500 кг.

- MiR1000, который обладает грузоподъемностью 1000 кг соответственно.

Это роботы нового поколения, которые имеют большое число датчиков, благодаря которым робот может передвигаться без каких-либо дополнительных средств (индикаторов пути), объезжать преграды, например сотрудников, и самостоятельно строить наилучший маршрут. Также при изменении маршрута, необходимо указать только 2 точки (исходную и окончатель-

ную), а не демонтировать старый и строить новый путь. Они очень удобны и универсальны, т. к. например способны становиться из тележки для поддонов в автономного робота для стерилизации или соединять всех роботов в одну единую систему, благодаря исключительной программе MiR Fleet, а также они имеют лучшие отношение размера к весу перевозимого груза сравнительно с другими складскими роботами [3, 4].

Подобные складские роботы уже используют множество компаний, такие как: ICM (склады), Whirlpool (производство бытовой техники), FORD (производство автомобилей), Visteon (производство автокомпонентов), Johnson-Hitachi (производство кондиционеров) и др.

Также нужно отметить компанию Amazon, которая является лидером в области автоматизации складских операций. Она не только использует существующие технологии, но и разрабатывает собственные продукты и осуществляет закупку у производителей, представляющих интерес. Компания заявила, что внедрила более 520 000 роботов на своих предприятиях по всему миру, и представила своего первого автономного мобильного робота (AMR) Proteus, который скользит под тележками, поднимает их и перемещает по складам к сотрудникам или другим роботизированным ячейкам. В отличие от роботов старого образца, которые в настоящее время работают в закрытых помещениях вдали от сотрудников Amazon, Proteus может свободно работать среди них. Это означает, что он должен быть готов быстро адаптироваться к неожиданным изменениям в своей среде. Работа Proteus заключается в хранении, перемещении и сортировке тележек Amazon, которые являются центральной частью логистических операций компании. AMR перемещается туда, где стоят тележки, и скользит под ними, чтобы переместить их. Он использует общие навигационные возможности для перемещения к общему местоположению тележек, а затем использует свой высокоточный LiDAR (технология для формирования 3D-моделей и карт) для поиска тележек. Чтобы проскользнуть под тележку, Proteus использует двухэтапный процесс обнаружения и движения. Во-первых, робот выполняет небольшую S-образную кривую, чтобы устранить любую боковую ошибку при его позиционировании под тележкой. Во-вторых, он совершает прямолинейное движение, чтобы пройти под тележкой и поднять ее. В-третьих, робот переносит тележку в нужное место хранения, которое он идентифицирует с помощью Fiducial plus

Amazon (специально изготовленная наземная цель, которая помогает Proteus в его возможностях выравнивания и поиске ячеек памяти, эти реперные точки помогают роботу корректировать свое позиционирование на миллиметровом уровне) [2].

Кроме того, компания представила новую роботизированную руку Sparrow, способную собирать отдельные продукты до того, как они будут упакованы. В отличие от прошлых роботов Amazon, которые собирают и упорядочивают посылки для отправки, этот робот может обрабатывать отдельные продукты, что является непростой задачей в таком месте, как склад Amazon, где может потребоваться обработка более 100 млн различных товаров. По данным компании, Sparrow может выбрать 65 % из них. Несмотря на то, что он может выбирать самые разные предметы, такие как DVD-диски, носки и мягкие игрушки, его недостаток заключается в том, что он с трудом справляется с предметами, которые имеют свободную или сложную упаковку.

Автоматизация складов в России и мире

По исследованию 2017 г., мировая автоматизация складов значительно набирает обороты. По расчётам рост рынка робототехники составляет примерно 12,5 % в год. Это увеличение связано с ускорением внедрения робототехнических устройств на склады крупных кампаний онлайн-ритейлеров. За границей рассчитывают добиться к 2025 г. 22 % уровня роботизации.

В России также есть курс на ускорение складской автоматизации, но только в крупных кампаниях. Например, кампания Декатлон планирует обустроить роботами большие склады площадью примерно в 1500 м². Это довольно серьёзный проект, т. к. автоматизация складов такой площади стоит достаточно больших средств. Также аэропорт Домодедово сейчас внедряет роботов Vanderlande на складах хранения багажа. Эти роботы выполняют сортировку, поиск, перемещения багажа.

Заключение

Складские роботы и автоматизация складов доказали свою результативность и финансовую выгоду на крупных складах с большим товарооборотом. Благодаря складским роботам уменьшается количество ошибок при сортировке и сильно увеличивается товарооборот из-за увеличения скорости обработки заказов. По при-

чине увеличения компаний и переходом их на более значительные по площади склады, а также активным увеличением онлайн-торговли, робо-

тизация складов является неминуемой перспективной по всему миру и будет продолжать развиваться.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Драницкий И. О.** Использование мобильных роботов для автоматизации складских помещений // Вестник науки и образования. 2015. № 6(8). С. 5—9.
2. **Zhilentov A. A., Denk D.** Designing of sensoreless control system for brushless direct current motor: 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRus), 1104—1108. DOI: 10.1109/EIConRus.2017.7910748.
3. **Zeng A. et al.** Multi-view self-supervised deep learning for 6D pose estimation in the Amazon Picking Challenge: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). — Singapore. 2017. P. 1386—1383. DOI: 10.1109/ICRA.2017.7989165.
4. **Жилентов А. А., Черный С. Г.** Извлечение информации из BigData с помощью нейросетевых архитектур как сетей ассоциаций информационных гранул // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2022. Т. 72. № 3. С. 81—90. DOI: 10.14357/20790279220308.

ADVANCED WAREHOUSE AUTONOMOUS ROBOTICS SOLUTIONS

M. M. Zotov, A. A. Zhilentov

St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

The article discusses the concept of warehouse robots, their classification by technical capabilities and degree of autonomy, as well as various navigation technologies used to move robots around warehouses. A brief review of the history of the creation of warehouse robots and the development of technologies over the past 60 years is carried out. The concept of a robotic complex and its main components, the levels of its autonomy depending on the presence of a common system and the robots used, as well as an example of an algorithm for organizing the work of such a complex, are considered. Examples of advanced solutions in the field of warehouse robotic systems and robots for autonomous work in warehouses and factories are analyzed. The situation with the automation of warehouse processes in Russia and the world is considered.

Keywords: warehouse robots; warehouse automation; robotic warehouses; robotic complex.

Bibliography — 4 references.

Received February 17, 2023

УДК 621.37

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_53

EDN: SCHKEQ

ВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ СЕНСОРНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ (СИГНАЛЬНОГО РАДИОВИДЕНИЯ)

К. В. Латышев

МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия

Рассмотрены методы, механизмы и алгоритмы волновой манипуляции. Выполнен анализ алгоритмов, используемых при идентификации объектов и их движений. Предложен алгоритм идентификации объектов и их движений, основанный на алгоритмах Overlap-Add и Динамического искривления времени.

Ключевые слова: алгоритмы идентификации объектов, сверхширокополосный сигнал, сверхкороткоимпульсный сигнал, радиопортрет.

Технология передачи управляющих воздействий является актуальной областью исследований на протяжении последних десятилетий [1]. Растущая в геометрической прогрессии популярность цифровых устройств привела к перманентно увеличивающемуся спросу на надежные и эффективные методы передачи управляющих сигналов от манипуляторов к компьютерным системам или другим управляемым устройствам [2].

Для передачи управляющих воздействий используют различные типы сигналов, включая инфракрасные (ИК), видео-, ультразвуковые и радиосигналы. У современных манипуляторов есть ряд существенных недостатков, заключающихся в сложности управления, необходимости физического воздействия на манипулятор и чувствительности к внешним условиям или побочным воздействиям [3].

Перспективным направлением развития манипуляторов является использование волновых методов для передачи манипуляционных воздействий. Эти методы позволяют устранить недостатки классических манипуляторов [4]. Под волновыми методами, рассматриваемыми в данной работе, будем понимать методы, в которых длинна волны, используемой для передачи и приема управляющего воздействия, не меньше длинны волны видимого излучения. Если детально рассмотреть данный диапазон, то в нем можно выделить четыре основных типа излуче-

ния: ультразвуковое, инфракрасное, видимое и радио. С каждым типом излучения условно работают свои методы. Для инфракрасного и видимого диапазона — инфраоптические методы, для ультразвукового — аэросенсорные, а для радио — радиосенсорные.

Томографирование направлено на построение изображения объектов в пределах определенной области путем обработки сигналов, передаваемых набором узлов. Алгоритмами, основанными на механизме томографирования являются алгоритмы обратной проекции, итеративной реконструкции и байесовской реконструкции [5].

Алгоритм обратной проекции работает путем построения двумерных или трехмерных изображений объектов с использованием обратной проекции измерений уровня сигнала от каждого узла на сетку, представляющую собой целевую область. Измерения уровня сигнала используются для определения распределения радиочастотной энергии в целевой области, и изображение создается путем присвоения каждой ячейке сетки значения, пропорционального уровню сигнала, принятого в этом местоположении. Алгоритм основан на обратном преобразовании Радона:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{N-1} \Delta\theta_i g_{\theta_i}(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i),$$

$$g_{\theta}(t) = p_{\theta}(t) k(t),$$

где $\Delta\theta$ — угловое расстояние между выступами и $k(t)$ которая является ядром Радона с частотной характеристикой $|\omega|$.

Алгоритм итеративного восстановления работает путем итеративного уточнения начальной

Латышев Кирилл Валерьевич, старший преподаватель кафедры "Радиоволновые процессы и технологии".
E-mail: latyshev@mirea.ru

Статья поступила в редакцию 13 февраля 2023 г.

© Латышев К. В., 2023

оценки объекта путем сравнения расчетного уровня сигнала на каждом узле с фактическими измерениями уровня сигнала. Этот процесс продолжается до тех пор, пока разница между расчетным и фактическим уровнями сигнала на каждом узле не упадет ниже определенного порога или пока не будет достигнуто максимальное количество итераций.

Алгоритм байесовской реконструкции работает путем объединения предварительных знаний об объекте с наблюдаемыми измерениями уровня сигнала на каждом узле. Алгоритм начинается с определения распределения, которое представляет собой предварительные знания о возможном объекте. Это начальное распределение затем объединяется с наблюдаемыми измерениями уровня сигнала на каждом узле для получения последующего распределения, которое представляет обновленную оценку радиосвязи после учета измерений.

У данного класса алгоритмов существует ряд недостатков: вычислительная сложность, ограниченная точность и наличие шумов на итоговом изображении после выполнения алгоритмов.

Данный класс алгоритмов отличается дальностью от 200 до 300 см, вероятностью распознавания 63–71 % и существенной зависимостью от внешних условий и характеристик среды, находящейся между приемником (передатчиком) и объектом.

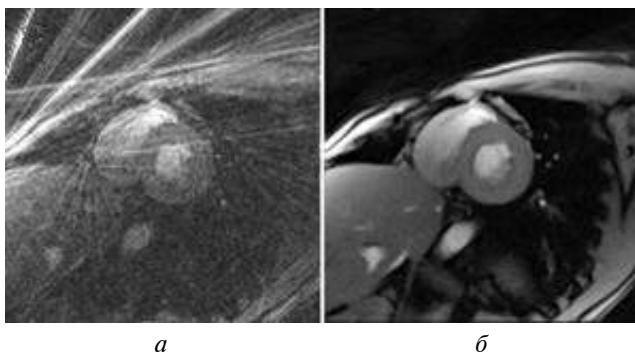


Рис. 1. Сравнение изображений, полученных с использованием алгоритма:

a — обратной проекции; *б* — итеративной реконструкции

В свою очередь, аэросенсорные методы основываются на механизмах сдвига частоты. Сдвиг частоты, также известный как смещение частоты или частотный дрейф — это явление, при котором частота сигнала отклоняется от его первоначального значения. В системах радиосвязи сдвиг частоты может быть результатом различных эффектов, таких как эффект Доплера. С помощью сдвига частоты можно определить характеристики объекта. Это распространенный

метод, используемый в радиолокационных и гидролокационных системах для определения дальности, скорости и направления движения объектов. Существует несколько алгоритмов, используемых для определения размера, формы и свойств материала объекта с использованием сдвига частоты. Наиболее распространенными являются:

- Алгоритм времени полета (ToF — Time of Flight) — это алгоритм измерения, который определяет расстояние между двумя точками путем измерения времени, которое требуется для прохождения сигнала от отправителя к цели и обратно к приемнику (рис. 2). Затем расстояние рассчитывается с помощью измерения времени и скорости сигнала. Анализируя сдвиг частоты отраженного сигнала, можно определить размер и форму объекта. Системы ToF обычно используют либо световые, либо радиосигналы в качестве измерительного сигнала [6].

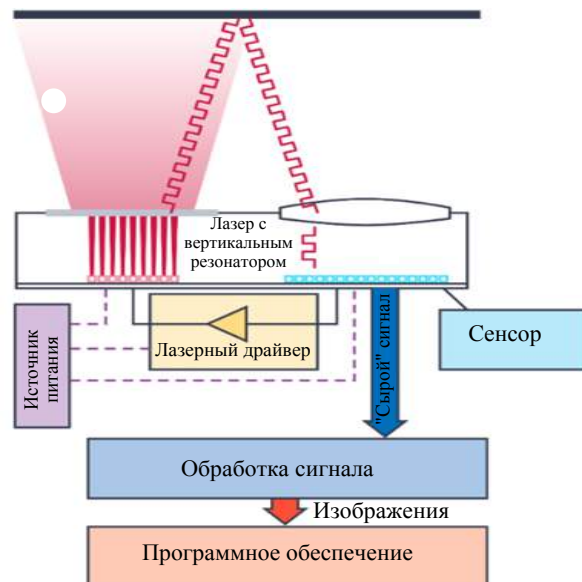


Рис. 2. Принцип работы системы, основанной на алгоритме ToF

При функционировании алгоритма измеряется разницу во времени t_d между излучаемым сигналом и обратным сигналом путем оценки смещения фазы $\phi = 2\pi f t_d$ между двумя сигналами. Глубину можно оценить по смещению фазы (ϕ) и скорости света (c), используя:

$$d = \frac{c \phi}{4\pi f_{\text{mod}}}, \quad f_{\text{mod}} \text{ — частота модуляции.}$$

- Алгоритм анализа обратного рассеяния — это алгоритм обработки сигналов, используемый в области зондирования малой дальности. Он

используется для оценки характеристик объектов или материалов, таких, как размер, форма и состав, на основе рассеянных или отраженных сигналов, полученных датчиками. Алгоритм использует математические модели для инверсии процесса рассеяния, тем самым определяя параметры объекта по измеренным сигналам [7]. Он применяет многократные сдвиги частоты для определения размера, формы и свойств материала объекта. Анализируя сдвиг частоты рассеянных сигналов, можно определить поперечное сечение рассеяния объекта и использовать его для определения объекта свойств.

В алгоритме требуется решить задачу прямого рассеяния. Эта задача может быть решена аналитически или численно, и решение дает информацию о рассеивающем поведении объекта, которая может быть использована для определения его размера, формы, состава материала и других характеристик. Асимптотическое выражение для функции $\psi(x)$ в пределе $x \rightarrow \infty$ имеет вид:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \psi(x) = e^{-ikx} + b(k)e^{+ikx},$$

где первое слагаемое в правой части соответствует падающей волне, а второе — отраженной волне с коэффициентом отражения $b(k)$; в пределе $x \rightarrow \infty$ имеем

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \psi(x) = a(k)e^{-ikx}.$$

что соответствует прошедшей волне с коэффициентом $a(k)$.

Данный класс алгоритмов отличается средней дальностью от 5 до 300 м (зависит от используемой антенны), вероятностью распознавания 82—87 % и незначительной зависимостью от внешних условий и характеристик среды, находящейся между приемником (передатчиком) и объектом.

В последнее десятилетие распознавание жестов рук с использованием радара стало привлекать интерес исследователей по всему миру [8]. По сравнению с традиционными методами распознавание жестов рук с помощью радара имеет свои достоинства. Прежде всего, камера вряд ли может получить четкое изображение при слабом освещении [9]. На сигнал радара оно не сможет повлиять, следовательно его можно широко использовать в темноте. Во-вторых, радарный датчик может точно фиксировать движение очень небольшой величины. Таким образом, система распознавания жестов на основе радара имеет очевидные преимущества для практического использования [10]. Основным элементом радио-

сенсорной манипуляции является радиопортрет. Радиопортрет — это изображение объекта, среды или области, созданное с помощью радиоволн. Для построения радиопортрета используются следующие алгоритмы сигнального радиовидения: радара с синтезированной апертурой (SAR); алгоритмы, основанные на быстром преобразовании Фурье (БПФ) или на вейвлет-преобразовании.

Алгоритмы SAR используют сигналы, излучаемые радиолокационной системой, и их отражения от цели для создания изображений цели. Антенна излучает серию импульсов в направлении земной поверхности. Энергия каждого импульса отражается от антенны и регистрируется. Затем антенна радара перемещается в новое положение, и процесс повторяется. Данные, собранные радиолокационной системой, обрабатываются с использованием алгоритмов SAR для создания изображений с высокой детализацией и высоким пространственным разрешением.

Алгоритмы SAR моделируют сцену, как набор точечных целей, которые не взаимодействуют друг с другом, что является приближением Борна:

$$\left| \Psi_p^{(\pm)} \right\rangle = \left| \Psi_p^0 \right\rangle + G^0 (E_p \pm i\varepsilon) V \left| \Psi_p^0 \right\rangle$$

где G^0 — функция Грина, ε является положительной бесконечно малой величиной;

V — потенциал взаимодействия;

$\left| \Psi_p^0 \right\rangle$ — соответствующее решение для свободного рассеяния, иногда называемое падающим полем;

$\left| \Psi_p^{(\pm)} \right\rangle$ — движущееся поле.

Алгоритм корреляции с преобразованием Фурье (FTC) — это алгоритм распознавания сигналов, который использует преобразование Фурье для обработки отраженных сигналов, полученных системой радиоволнового зондирования. Алгоритм FTC работает путем преобразования полученных сигналов из временной области в частотную с помощью преобразования Фурье, это позволяет более эффективно анализировать сигналы, поскольку разделяет их на составляющие частоты и амплитуды. Затем алгоритм FTC проводит кросс-корреляцию преобразованных сигналов с заданной целевой сигнатурой в частотной области. Полученный сигнал во временной области затем анализируют для определения наличия и характеристик целевого объекта. Это можно сделать путем поиска пика в сигнале временной области, который соответствует временной задержке между переданным и приня-

тым сигналами. Эта временная задержка может быть использована для определения дальности или расстояния до объекта, а величина пика может быть использована для определения отражательной способности объекта.

Одним из алгоритмов сигнального радиовидения, основанного на вейвлет-преобразовании, является преобразование Хаара. Оно работает путем разделения входного сигнала на перекрывающиеся окна и вычисления среднего значения и разности сигнала в каждом окне. Эти значения затем используют для представления сигнала в вейвлет-области. Затем процесс повторяется, разделяя каждое окно на еще более мелкие окна и вычисляя среднее и разность значений для каждого из этих окон. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнут желаемый уровень детализации.

Данный класс алгоритмов отличается средней дальностью от 100 до 500 см (зависит от используемой антенны), вероятностью распознавания 86—90 % и не зависит от внешних условий и характеристик среды, находящейся между приемником (передатчиком) и объектом. Следовательно алгоритмы, основанные на механизмах сигнального радиовидения, оптимальнее рассмотренных алгоритмов по определенным в ранее параметрам.

Алгоритмы, основанные на механизмах сигнального радиовидения, используют обычные или узкополосные радиосигналы. Если изменить в этих алгоритмах тип используемого сигнала на сверхширокополосный, то они будут способны выполнять задачи идентификации и обнаружения объектов с большей точностью [11] за счет более точного измерения дальности, которое достигается благодаря использованию сверхкоротких импульсов и сверхширокой полосы пропускания. В разработанном алгоритме предлагается использовать сверхкороткоимпульсные (далее — СКИ) сигналы. Они являются импульсами наносекундной или субнаносекундной длительности без несущего частотного заполнения. Как правило, эти импульсы имеют частоту от 100 МГц до 10 ГГц. Высокая частота позволит отслеживать даже небольшие движения пальцев одной руки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Guo B., Wang P., Zhao Z. et al.** Design and Experiments of an Origami-Inspired Pneumatic Flexible Manipulator // *Acta Mech. Solida Sin.* 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1007/s10338-022-00376-7> (дата обращения: 23.02.2023).
2. **Qing Gao, Jinyang Li, Yimin Zhu, Siyue Wang, Jingshu Liufu, Jinguo Liu.** Hand gesture teleoperation for dexterous manipulators in space station by using monocular hand motion capture // *Acta Astronautica.* 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.11.047> (дата обращения: 23.02.2023).

Разработанный алгоритм основан на комбинации двух алгоритмов Overlap-Add и Динамического искривления времени (ДИВ). На начальном этапе с использованием алгоритма Overlap-Add будет проведена свертка СКИ сигналов, отраженных от объекта. После этого с использованием алгоритма ДИВ будет проводиться идентификация свернутого сигнала на основе базы эталонных СКИ сигналов. Комбинация обозначенных алгоритмов позволит увеличить вероятность и скорость распознавания объектов независимо от помех и особенностей окружающей среды.

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Разделение входных СКИ сигналов на более мелкие сегменты.
2. Заполнение сегментов нулями.
3. Свертка блоков сигналов попарно.
4. Добавление перекрывающихся сегментов.
5. Повторение шагов 2—4 для каждого последующего сегмента.
6. Формирование свернутого сигнала.
7. Инициализация матрицы затрат, которая будет использоваться для хранения значений расстояния между точками в двух последовательностях сигналов.
8. Расчет стоимости матрицы затрат.
9. Нахождение оптимального пути выравнивания между двумя последовательностями для идентификации свернутого СКИ сигнала в базе данных.

Заключение

Приведены необходимые теоретические сведения о методах и механизмах волновой манипуляции. Проведен анализ алгоритмов, используемых при идентификации объектов и их движений. Определены их основные достоинства и недостатки. Предложен алгоритм, основанный на комбинации алгоритмов Overlap-Add и Динамического искривления времени. Разработанный алгоритм позволит повысить вероятность и скорость идентификации объектов.

В дальнейших исследованиях планируется осуществить проверку работоспособности алгоритма в среде динамического моделирования.

3. **Qing Gao, Jinguo Liu, Zhaojie Ju.** Robust real-time hand detection and localization for space human–robot interaction based on deep learning // *Neurocomputing*. 2020. № 390. P. 198–206 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.02.066> (дата обращения: 23.02.2023).
4. **Бабунько С. А., Белов Ю. Г.** Конструирование и расчет широкополосного фазового манипулятора // *Вестник НГИЭИ*. 2016. № 4(59). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruirovanie-i-raschet-shirokopolosnogo-fazovogo-manipulyatora> (дата обращения: 23.02.2023).
5. **Симонов Е. Н., Аврамов М. В., Аврамов Д. В.** Анализ трехмерных алгоритмов реконструкции в рентгеновской компьютерной томографии // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2017. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-trehmernih-algoritmov-rekonstruktsii-v-rentgenovskoy-kompyuterno-y-tomografii> (дата обращения: 23.02.2023).
6. **Sang Y., Shi L., Liu Y.** Micro hand gesture recognition system using ultrasonic active sensing // *IEEE Access*. 2018. № 6. P. 49339–49347 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868268> (дата обращения: 23.02.2023).
7. **Zeng Q., Kuang Z., Wu S., Yang J.** A Method of Ultrasonic Finger Gesture Recognition Based on the Micro-Doppler Effect // *Applied Sciences*. 2019. № 9(11) [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.3390/app9112314> (дата обращения: 23.02.2023).
8. **Hazra S., Santra A.** Robust gesture recognition using millimetric-wave radar system // *IEEE Sensors Letters*. 2018. V. 2. Iss. 4. P. 1–4 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1109/LENS.2018.2882642> (дата обращения: 23.02.2023).
9. **Коломыцев А. С., Вердиев О. Р.** Распознавание жестов на видео // *StudNet*. 2022. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznvanie-zhestov-na-video> (дата обращения: 23.02.2023).
10. **Муратов Е. Р., Никифоров М. Б., Скачков А. М.** Искусственный интеллект в задачах распознавания динамических жестов // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2020. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-zadachah-raspoznvaniya-dinamicheskikh-zhestov> (дата обращения: 23.02.2023).
11. **Shahzad Ahmed, Dingyang Wang, Junyoung Park, Sung Ho Cho.** UWB-gestures, a public dataset of dynamic hand gestures acquired using impulse radar sensors // *Scientific Data*. 2021. № 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00876-0> (дата обращения: 23.02.2023).

WAVE TECHNOLOGIES IN SENSOR TELEMETRY (SIGNAL RADIO VISION) SYSTEMS

K. V. Latyshev

MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia

The methods, mechanisms and algorithms of wave manipulation are considered in the article. The analysis of algorithms used in the identification of objects and their movements is carried out. An algorithm for identifying objects and their movements based on the algorithms of Overlap-Add and Dynamic Time Warping is proposed.

Keywords: object identification algorithms, ultra-wideband signal, ultrashort pulse signal, radio portrait.

Bibliography — 11 references.

Received February 27, 2023

УДК 331.22

DOI: 10.52190/1729-6552_2023_1_58

EDN: SJZNSJ

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ

А. Г. Барсуков, канд. техн. наук

ЗАО «Московский научно-исследовательский телевизионный институт», Москва, Россия

О. А. Рукина, канд. эконом. наук

Военный университет имени князя Александра Невского, Москва, Россия

Рассмотрены сферы деятельности системы аттестации кадров ВАК и инновационных предприятий. Установлено, что упрощение процедуры регистрации в Роспатенте РФ объектов интеллектуальной собственности (ОИС), включенные в Перечень трудов ВАК РФ невнедренных ОИС и повышение уровня поощрительного вознаграждения за создание ОИС приводит к замедлению инновационного развития страны. Предложено внести изменения в (нормативно-правовые документы) Постановления Правительства РФ.

Ключевые слова: инновация, инновационная деятельность, объект интеллектуальной собственности, патент.

"Мы в основном используем патенты не для того, чтобы кому-то запретить повторить наши конструкции, а для того, чтобы самим беспрепятственно производить и продавать свои изделия по всему миру".

Ю. Соколов, российский изобретатель и предприниматель

В 2009 г. руководителем аналитического центра при Правительстве Российской Федерации А. В. Зверевым успешно защищена диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук на исключительно актуальную тему "Формирование национальной инновационной системы: мировой опыт и российские перспективы" [1].

Автор диссертации, исследуя переход экономики России на инновационный путь развития, предложил сформировать национальную инновационную систему, обеспечивающую необходимые условия для разработки новых технологий, скорейшего их внедрения, налаживания масштабного производства конкурентоспособных на мировом рынке товаров и услуг.

Инновация представлена — в виде общественно-технического-экономического процесса, который через практическое использова-

ние идей и изобретений приводит к созданию лучших по своим свойствам изделий и технологий.

Другими словами, инновации рассматриваются как особый вид экономической деятельности в сфере материального производства по превращению потенциальных научно-технических достижений в реальные, воплощающиеся в новых продуктах и технологиях.

Проведенный А. В. Зверевым анализ мирового опыта формирования и функционирования национальных инновационных систем показал [2]:

- в каждой стране инновационные системы устроены по-своему;
- независимо от государственной инновационной политики все страны нацелены на формирование благоприятной инновационной среды;
- в России острый дефицит специалистов, обслуживающих весь инновационный процесс — от изобретения до его практического использования;
- власть может и обязана проводить политику финансового стимулирования для развития инноваций (налоговые каникулы, субсидии, ускоренная амортизация и т. д.), а также использовать различные формы нематериального поощрения (престиж и признание ученым и изобретателем).

Барсуков Алексей Григорьевич, заслуженный изобретатель РФ, начальник научно-технического отдела.
E-mail: olenka-466@mail.ru

Рукина Ольга Алексеевна, старший преподаватель кафедры "Информатика и управление".
E-mail: olenka-466@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19 января 2023 г.

© Барсуков А. Г., Рукина О. А., 2023

Автор настоятельно рекомендует:

- более рационально использовать выделяемые на инновации государственные ресурсы;
- повысить системность и результативность государственной поддержки инновационной деятельности;
- особое внимание уделить совершенствованию законодательной и нормативно-правовой базы (в том числе в части лицензирования, сертификации и оформления патентов);

Прошли годы. В настоящее время трудно не согласиться с утверждением автора о низком уровне эффективности инновационной системы в России. Из числа внедренных в 2018 г. передовых технологий всего 2,6 % имеют патент на изобретение.

Основная часть

За последние 10 лет выходило немало нормативно-правовых документов, направленных на совершенствование инновационной деятельности в России. Наибольший интерес представляют три из них:

- Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней" [3];
- Приказ Минэкономразвития России от 25 мая 2016 г. № 316 "Об утверждении правил подачи, рассмотрения и регистрации изобретений и их форм" [4];
- Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1848 "Об утверждении правил выплаты вознаграждения за служебные изобретения, служебные полезные модели, служебные промышленные образцы" [5].

Рассмотрим их влияние на инновационную деятельность в России.

Обстановка, в которой формировалось Постановление Правительства [3], очень доходчиво охарактеризована в работе председателя ВАК РФ академика РАН М. П. Кирпичникова [6]: "Проблемы дефицита высококвалифицированных кадров. Необходимы скоординированные действия для наведения должного порядка в системе аттестации отечественных научно-педагогических кадров".

Решение приравнять объекты интеллектуальной собственности к публикациям, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени, было вынужденным. Принято в тяжелейший период реформирования системы аттестации научных кадров высшей квалификации "в качестве дополнительного фильтра".

Академик РАН М. П. Кирпичников отмечал [6]:

- патенты будут дополнительным инструментом к перечню журналов ВАК РФ;
- они не заменяют публикации научных статей, но имеют одинаковую значимость;
- они раскроют новые пути развития техники и будут полезны для некоторых соискателей ученой степени.

К недостаткам включения патентов (ОИС) в перечень трудов ВАК РФ следует отнести:

- не является научным трудом;
- создается и регистрируется в Роспатенте исключительно для защиты диссертации;
- не соответствует критерию существенности отличий от известных запатентованных решений;
- отсутствует доказательство работоспособности (эффективности) технического решения;
- не внедрен и отсутствует перспектива внедрения.

В условиях рыночной экономики сложившаяся ситуация можно трактовать как введение в заблуждение относительно пригодности к применению товара [7].

Вторым знаковым документом является Приказ Минэкономразвития России [4], в соответствии с которым существенно упрощена экспертиза технического решения по существу заявки.

По логике развития рыночных отношений автор должен быть заинтересован в наилучших (конкурентоспособных) потребительских свойствах товара, произведенного по его патенту. Поэтому экспертиза заявки на получение патента на существенность отличий, работоспособность и эффективность Роспатентом в настоящее время не проводится.

Упрощение процедуры получения патента положительно повлияло на развитие инноваций [8].

Однако по этой же причине наблюдается рост числа патентов, создаваемых для включения в перечень трудов ВАК РФ в целях получения ученой степени. К разработке патентов привлекаются опытные инженеры, специалисты патентных подразделений инновационных предприятий. Внедрение таких патентов, как правило, не производится ни до, ни после защиты диссертации [9, 10].

К сожалению, эта негативная тенденция развивается. Анализируя причины наблюдающейся отрицательной динамики, приходится констатировать неэффективность механизмов административного регулирования процессов инновационной деятельности [11]. Имеют место и побочные эффекты от принятых решений. Остановить их возможно, включив в п. 13 Постановления [3] слово "внедренные".

В [12] приведены причины низкой изобретательской активности в России. Рассмотрим меры государственной поддержки изобретательской активности и стимулирования коммерциализации прав на РИД в зарубежных странах.

Предусмотренные Постановлением Правительства [5] выплаты вознаграждений авторам за создание и использование изобретений, полезных моделей и промышленных образцов изобретателями, как правило, не производится по предназначению. Изобретатели в большинстве случаев предпочитают заключить соглашение с работодателем о приемлемом уровне поощрительного вознаграждения и не заниматься длительным и трудоемким внедрением патента.

Слабые перспективы, сложность и трудоемкость внедрения, длительный срок получения финансового результата от коммерциализации прав на РИД консервирует эту ситуацию.

Для разрешения ситуации целесообразно в качестве первого шага внести изменения в Постановление Правительства [5], увязывающие получение авторами патента поощрительного вознаграждения с внедрением изобретения.

Заключение

В России сложилась крайне низкая изобретательская активность, проблема медленного внедрения инноваций [13].

Одна из основных причин — отсутствие правильно выстроенной системы мотивации.

Согласно аналитическим данным Роспатента количество поданных заявок на изобретения ежегодно снижается: за последние 5 лет общее число поданных заявок снизилось примерно на 4 тысячи (на 45 %).

Только 7–8 % руководителей российской промышленности ответили утвердительно на вопрос о готовности к внедрению инноваций. Это один из самых низких показателей в мире, который продолжает падать.

Для разрешения проблемы необходимо совершенствовать национальную инновационную систему, изучать процессы инновационного развития экономики, оперативно поддерживать ее положительную динамику с изменениями в законодательной и нормативно-правовой базе России.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зверев А. В.** Формирование национальной инновационной системы: мировой опыт и российские перспективы: Автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра эконом. наук. — М.: Академия труда и социальных отношений, 2009.
2. **Зверев А. В.** Иностранный опыт инновационного развития: Монография / Аналитический центр при Правительстве РФ. — М.: ИД "Финансы и кредит", 2008. — 150 с.
3. Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней (с изменениями)".
4. Приказ Минэкономразвития России от 25 мая 2016 г. № 316 "Об утверждении правил подачи, рассмотрения и регистрации изобретений и их форм".
5. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1848 "Об утверждении правил выплаты вознаграждения за служебные изобретения, служебные полезные модели, служебные промышленные образцы".
6. **Кирпичников М. П.** Защита качества. Как обеспечить чистоту научных трудов // Поиск. 2008. № 18(988). С. 14–22.
7. **Евстафьев В. Ф., Хитрова Л. Н.** Институт интеллектуальной собственности в экономике знаний // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2022. № 3. С. 31–46.
8. **Соколов Ю.** Incotex Electronics Group, 2021. — М.: Finarty — Издательский дом Маковского, 2021. — 336 с.
9. **Барсуков А. Г., Мурашова С. В., Рукина О. А.** Стимулирование инженерного творчества // Наукоемкие технологии. 2016. Т. 17. № 2. С. 63–65.
10. **Барсуков А. Г., Мурашова С. В., Рукина О. А.** Изобретательская деятельность — особенности мотивации // Электроника: НТБ. 2016. № 3. С. 124–126.
11. **Салькова Н. Е.** Правовое стимулирование инновационной деятельности // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2022. № 11. С. 20–25.
12. **Дьяченко О. Г., Тузова С. Ю., Ищенко А. А.** Меры поддержки патентной активности: зарубежный опыт // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2022. № 5. С. 3–20.
13. **Алибников А. А.** Анализ проблем стимулирования изобретательской деятельности в России // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2022. № 9. С. 61–69.

ON THE IMPROVEMENT OF INNOVATION ACTIVITIES IN RUSSIA

A. G. Barsukov

JSC "Moscow Scientific Research Television Institute", Moscow, Russia

O. A. Rukina

Prince Alexander Nevsky Military University, Moscow, Russia

The spheres of activity of the personnel certification system of the Higher Attestation Commission and innovative enterprises are considered. It is established that the simplification of the registration procedure in Rospatent of the Russian Federation of intellectual property objects (IPOs) included in the List of works of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation not implemented IPOs and the increase in the level of incentive remuneration for the creation of IPOs leads to a slowdown in the innovative development of the country. It is proposed to amend (regulatory documents) the Resolutions of the Government of the Russian Federation.

Keywords: innovation, innovative activity, intellectual property object, patent.

Bibliography — 13 references.

Received January 19, 2023

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2023. Вып. 1. С. 1—64.

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

Подписано в печать 20.03.2023.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 7,7.

Тираж 250 экз. Заказ 2012.

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, помещ. IX, ком. 15, 16

ООО «Спиди-Принт.ру»

Индекс 79379.

Правила для авторов по оформлению рукописей статей, предлагаемых к публикации в журналах

Направляя рукопись статьи в редакцию журнала, авторы передают редколлегии и издателю журнала безвозмездное неисключительное право опубликовать ее на русском языке в качестве статьи в печатной и электронной версиях журнала в сети Интернет. При этом за авторами сохраняются их интеллектуальные права на рукопись статьи (в том числе "авторское право"). В связи с этим и с учетом Четвертой части (Раздел VII) Гражданского кодекса РФ авторами должно быть представлено в редакцию письмо в следующей форме:

Лицензионный договор о передаче права на публикацию (издательский лицензионный договор)

Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи,
предоставляем редколлегии журнала и издателю ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»
.....
(название журнала)

безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на публикацию рукописи статьи как в печатной, так и в электронной версиях журнала.

Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает интеллектуальных прав других лиц или организаций.

Подписи авторов: (ф.и.о., ученая степень, дата)

Статья должна быть подписана всеми авторами. В случае нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией. Рукопись статьи направляется на адрес редакции журнала: 125424, Москва, Волоколамское ш., д. 77, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», Редакция журнала. Дополнительная информация может быть получена в редакции при обращении по телефону: 8 (495) 491-43-17 или по E-mail: izdanie@ntckompas.ru.

Каждая статья рецензируется в соответствии с решением редколлегии журнала. Рецензенты выбирают из числа ученых и специалистов, компетентных в вопросах, рассматриваемых в статье, и имеющих собственные публикации в данном направлении. Решение о порядке публикации статьи принимается редколлгией с учетом мнения рецензентов. В случае разногласий среди членов редколлегии окончательное решение принимает главный редактор. При полном отклонении рукописи статьи от публикации редакция журнала направляет авторам мотивированный отказ. По этому факту редакция не вступает в полемику с авторами.

Комплектование статьи (обзора)

Статья должна быть представлена в редакцию в следующем комплекте:

- сопроводительное письмо, подписанное руководством организации;
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати и распространения в Российской Федерации и других государствах. При отсутствии в организации экспертной комиссии вме-

сто экспертного заключения может быть представлено соответствующее заявление на имя главного редактора журнала от имени руководства организации, где работают авторы. В экспертном заключении или заявлении в обязательном порядке должна быть отражена возможность открытой публикации и передачи публикуемых материалов за границу.

- лицензионный договор по приведенному образцу;

- рукопись статьи — объем статьи (без рисунков) не должен превышать 10 страниц формата А4 при 1,5 межстрочных интервалах, а объем статьи обзорного характера — 20 страниц. Рекомендуемая гарнитура — New Times Roman. Размер шрифта — 12;

- Материал статьи представляется в редакцию в печатном виде (на бумажном носителе) и в электронном варианте с текстом в формате Word на электронную почту.

Оформление статьи:

- статья начинается с указания УДК;
- название статьи набирается строчными буквами (кроме начальной прописной) полужирным шрифтом, размер шрифта 14, для остального текста используется простой шрифт размером 12, причем рекомендуемая гарнитура шрифта — Times New Roman;
- после названия — список авторов, инициалы авторов предшествуют их фамилиям;

- далее представляется аннотация статьи (10—15 строк с раскрытием цели работы и её основных результатов);

- далее приводится список ключевых слов для данной статьи (не более десяти);

- страницы текста нумеруются без пропусков и добавлений литерных обозначений (типа 1*a*, 2*b* и т. п.), причем в сквозную нумерацию должны быть включены все элементы статьи;

- внизу первой страницы текста помещается отдельный абзац (с полужирным шрифтом), содержащий контактную информацию об авторе (или авторах) в следующем виде: фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, почтовый адрес предприятия, телефон, E-mail;

- основной текст статьи должен начинаться с четкой постановкой цели и задач работы, сопровождаемой аргументами в пользу ее выполнения на фоне существующего состояния затронутой в статье проблемы. Дальнейший текст статьи также должен иметь смысловые рубрикаторы (разделы и подразделы) без их нумерации. Заканчиваться статья должна отдельным разделом «Заключение» с перечислением основных результатов, следующих из них выводов и, по возможности, предложений по развитию исследований и использованию их результатов.

- после основного текста — список использованных источников "Литература" (не менее 5 источников); Список использованной литературы должен соответствовать всем ссылкам на внешние источники в тексте статьи. Ссылки оформляются в квадратных скобках, например, [1—6], [7, 8]. Внутренние ссылки, т. е. ссылки на формулы, рисунки и таблицы статьи оформляются с использованием круглых скобок, например, формула (1), уравнение (4), (рис. 3), (табл. 2). Любые ссылки в подписях к рисункам и в самих рисунках не рекомендуются;

- далее размещается подробная англоязычная информация о статье: название статьи, фамилия и инициалы авторов (английская транслитерация), предприятие, аннотация, ключевые слова (Keywords).

Оформление рисунков:

- рисунки и графики вставляются непосредственно в нужном месте в статье и в желаемом масштабе.

- рядом с осями графиков указываются отображаемые физические величины только в символьной (буквенной) форме, а через запятую — размерность величины по-русски (прямым шрифтом). Различные кривые на графиках рекомендуется нумеровать, даже если они характеризуются отдельным цветом или типом линии. Графики представляются только на

белом фоне. Вспомогательные сетки на площади графика не допускаются;

- подписи под соответствующими рисунками (полужирный курсивный) представляются в нужных местах текста. Каждая подпись должна быть по возможности лаконичной, но емкой по содержанию.

Оформление формул:

- простые формулы вводить в текст в формате используемого текстового редактора, более сложные формулы — с использованием редактора формул MathType;

- стандартные математические обозначения (например, \max , \log , \sin , \exp и т. д.) должны быть набраны прямо. То же относится к цифрам и числам;

- для символьного обозначения не векторных физических (технических) величин использовать только латинский и греческий алфавиты, при этом в тексте для греческих букв использовать прямой шрифт, для латинских букв — наклонный шрифт (курсив);

- векторы и матрицы обозначать полужирным прямым шрифтом;

- для нижних и верхних индексов применять арабские цифры, латинские или греческие буквы. Если индекс представляет собой сокращенную форму русского слова — характеристики, то допустимо использовать в его обозначении русские буквы (прямой шрифт), например $U_{\text{вх}}$, $I_{\text{вых}}$, $v_{\text{гр}}$ и т. п.

- размерность физических величин обозначается всегда только по-русски прямым шрифтом.

Оформление таблиц:

- содержание таблицы не должно дублировать данные, приводимые на графиках или в тексте;

- графы должны иметь название без сокращения отдельных слов.

Рисунки, формулы и таблицы должны иметь свою отдельную сквозную нумерацию. Если на конкретную формулу нет дополнительных (возвратных) ссылок в тексте или она в единственном числе, то нумерация ее не нужна. Единственные таблица и/или рисунок также не нумеруются.

При публикации в журнале каждая статья (в контактной информации) сопровождается сноской со знаком охраны авторского права ©, поставленным перед фамилией автора (фамилиями авторов) и годом издания.

Авторы (или автор) каждой статьи после выхода журнала в свет имеют право на получение от редакции электронной версии статьи в PDF-формате (редактор Adobe Acrobat).